

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Mihael Škriljak**

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Student:

Mihael Škriljak

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se voditelju rada prof. dr. sc. Zoranu Luliću za svu pruženu pomoć i strpljenje kako bi me uputio u pravom smjeru prema uspješnoj izradi završnog rada, još jednom iskreno hvala.

Mihael Škriljak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Mihael Škriljak**

Mat. br.: 0035163722

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku: **Indiciranje DMB 128 A motora**

Naslov rada na  
engleskom jeziku: **Pressure Indicating of DMB 128 A Engine**

Opis zadatka:

Uz Hidrauličku kočnicu SCHENCK D 400 – 1e za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem iz INA Rafinerije nafte Sisak je u Laboratorij za motore i vozila FSB-a prebačena i oprema za indiciranje motora s unutarnjim izgaranjem.

Kako je zbog transporta sva oprema rastavljena, istu je potrebno ponovno staviti u funkciju.

U sklopu završnog rada potrebno je:

- Objasniti postupak indiciranja motora s unutarnjim izgaranjem.
- Proučiti i posložiti preuzetu opremu i pripadajuću tehničku dokumentaciju te izraditi njezin popis.
- Utvrditi način spajanja opreme na motor DMB 128 A.
- Prema uputama iz tehničke dokumentacije napraviti opis postupka indiciranja DMB 128 A motora s unutarnjim izgaranjem.

Sve radnje tijekom izrade završnog rada treba opisati i popratiti skicama, crtežima odnosno fotografijama na način da se po završetku završni rad može koristiti kao uputa za rad s uređajem za indiciranje motora s unutarnjim izgaranjem.


Pri izradi se treba pridržavati pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
**14. studenog 2011.**

Rok predaje rada:  
**1. rok: 10. veljače 2012.  
2. rok: 6. srpnja 2012.  
3. rok: 14. rujna 2012.**

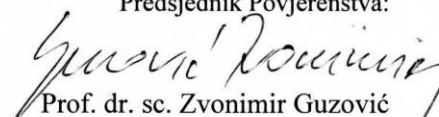
Predviđeni datumi obrane:  
**1. rok: 15., 16. i 17. veljače 2012.  
2. rok: 9., 10. i 11. srpnja 2012.  
3. rok: 19., 20. i 21. rujna 2012.**

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Referada za diplomske i završne ispite

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

Obrazac DS – 3A/PDS – 3A

## Sadržaj

Popis slika .....	VII
Popis tablica .....	VIII
Popis oznaka.....	IX
Popis kratica .....	X
Sažetak .....	1
1. Uvod .....	2
2. Teorija indiciranja motora .....	3
2.1. Osnovni utjecaji na izgaranje .....	3
2.2. Dijagrami tlaka u cilindru .....	3
3. Oprema za indiciranje motora i njezine karakteristike .....	7
3.1. Pretvarači indiciranja tlaka motora .....	9
3.2. Pojačalo naboja .....	10
3.3. Visokotlačno indiciranje .....	13
3.3.1. Parametri indiciranja .....	13
3.3.1.1. Izravni parametri .....	14
3.3.1.2. Neizravni parametri.....	14
3.4. Indiciranje niskog tlaka .....	15
4. Uređaji za indiciranje motora .....	17
4.1. Pi meter .....	18
4.1.1. Procedura mjerenja Pi meterom .....	22
4.1.1.1. Utjecajni faktori na preciznost mjerenja .....	22
4.1.1.2. Kalibracija sustava (Način rada za kalibraciju CAL) .....	22
4.1.1.3. Određivanje gornje mrtve točke.....	22
4.1.1.4. Mjerenje tlaka za određeni položaj koljenastog vratila (Način rada $P(\alpha)$ ) ..	23
4.1.1.5. Izračun IMEP (engl. Indicated mean effective pressure).....	23
4.1.1.6. Izračun $p_{\max}$ , $dp_{\max}$ , $\alpha p_{\max}$ , $\alpha dp_{\max}$ , rpm, te pV i p $\alpha$ dijagrama.....	24
4.1.1.7. Prikaz dobivenih rezultata.....	24
4.1.1.8. Mjerenje dužeg perioda.....	25
4.2. Naponsko pojačalo .....	26
4.3. Senzor zakreta i brzine vrtnje koljenastog vratila .....	31
5. Proračun brzina prilikom indiciranja motora.....	34
5.1. Proračun potrebne brzine očitavanja uzoraka (engl. Sample rate).....	34

6. Opis postupka indiciranja DMB 128 A motora s unutarnjim izgaranjem .....	35
6.1. Ispitni motor .....	35
6.2. Mjerenje tlaka u cilindru DMB 128 A motora s unutarnjim izgaranjem .....	36
6.3. Određivanja kuta zakreta koljenastog vratila .....	38
7. Zaključak .....	40
Literatura .....	41

## Popis slika

<i>Slika 2.1. Dijagram tlaka [1] .....</i>	<i>5</i>
<i>Slika 3.1. Proces dobivanja podataka [1] .....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 3.2. Piezoelektrični pretvarači a) bez hlađenja; b) s hlađenjem [3] .....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 3.3. Shema strujnog kruga pojačala naboja [1] .....</i>	<i>11</i>
<i>Slika 3.4. Tlak kod visokotlačnog indiciranja .....</i>	<i>13</i>
<i>Slika 3.5. Dijagram ovisnosti tlaka o kutu zakreta koljenastog vratila [2] .....</i>	<i>15</i>
<i>Slika 4.1. Shema mjernog lanca [1] .....</i>	<i>17</i>
<i>Slika 4.2. Fotografija s oznakama uređaja Pi meter .....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 4.3. Fotografija stražnje strane Pi metra .....</i>	<i>20</i>
<i>Slika 4.4. Prikaz p-v dijagram [2] .....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 4.5. Prikaz p-a dijagram [2] .....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 4.6. Fotografija prednjeg dijela naponskog pojačala PCA .....</i>	<i>27</i>
<i>Slika 4.7. Fotografija prednjeg dijela naponskog pojačala Kistler .....</i>	<i>28</i>
<i>Slika 4.8. Fotografija stražnjeg dijela naponskog pojačala Kistler .....</i>	<i>30</i>
<i>Slika 4.9. Fotografija senzora zakreta i brzine vrtnje koljenastog vratila .....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 4.10. Fotografija CAM elektronike .....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 4.11. Shema spajanja CAM sistema s COM mjernim instrumentom .....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 6.1. Fotografija ispitnog motora postavljenog na kočnicu .....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 6.2. Fotografija sklopa svjećice i kućišta za piezoelektrični pretvarač .....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 6.3. Fotografija piezoelektričnog pretvarača tlaka proizvođača Kistler tip 6001 .....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 6.4. Fotografija sklopa svjećice i kućišta za piezoelektrični pretvarač ugrađenog u ispitni motor .....</i>	<i>38</i>
<i>Slika 6.5. Fotografija CAM enkodera ugrađenog na DMB 128 A motor .....</i>	<i>39</i>

**Popis tablica**

<i>Tablica 3.1. Parametri indiciranja .....</i>	<i>14</i>
<i>Tablica 3.2. Interpretacija neizravnih parametara .....</i>	<i>15</i>
<i>Tablica 4.1. Prikazivanja srednjih vrijednosti na zaslonu .....</i>	<i>24</i>
<i>Tablica 4.2. Prikazivanja pojedinačnih vrijednosti na zaslonu .....</i>	<i>25</i>
<i>Tablica 4.3. Upute za rad s prednjom stranom pojačalom Kistler 5008 .....</i>	<i>29</i>
<i>Tablica 4.4. Upute za rad s stražnjom stranom pojačalom Kistler 5008.....</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 6.1. Karakteristike ispitnog motora DBM 128A .....</i>	<i>36</i>
<i>Tablica 6.2. Karakteristike piezoelektričnog pretvarača tlaka proizvođača Kistler .....</i>	<i>37</i>



**Popis oznaka**

Oznaka	Jedinica	Opis
$a$	[°]	kut zakreta koljenastog vratila
$C$	[F]	kapacitet kondenzatora
$I$	[A]	jakost struje
$M$	[Nm]	moment
$n$	[s <sup>-1</sup> ]	brzina vrtnje
$n_c$	-	eksponent politrope
$P$	[W]	snaga
$p_c$	[Pa]	tlak u cilindru
$Q$	[C]	naboj
$R$	[Ω]	otpor
$U$	[V]	napon
$V_c$	[m <sup>3</sup> ]	volumen cilindra
$W$	[J]	rad

**Popis kratica**

Kratica	Naziv	Opis
DMT	-	Donja mrtva točka
GMT	-	Gornja mrtva točka
FE	<i>engl. Finite element</i>	Konačni element
ADC	<i>engl. Analog to digital converter</i>	Analogno digitalni pretvarač
CAM-C	<i>engl. Crank Angle Marker Control Unit</i>	Uređaj za mjerenje zakreta koljenastog vratila
EIPT	<i>engl. Engine Indicating Pressure Transducers</i>	Pretvarači indiciranja tlaka motora
IMEP	<i>engl. Indicated mean effective pressure</i>	Srednji indicirani efektivni tlak
MBT	<i>engl. Maximum Brake Torque</i>	Najveći moment kočenja

## **Sažetak**

U ovom radu je opisana teorija indiciranja motora te su spomenuti neki od problema koji se pri tome javljaju. Prikazana je potrebna oprema za indiciranje motora, te su navedene njene karakteristike i opisan način rada. U završnom dijelu ovog rada navedena je i opisana oprema za indiciranje koja se nalazi u Laboratoriju za motore i vozila Fakulteta strojarstva i brodogradnje- FSB dobivena od INA Rafinerije nafte Sisak.

## 1. Uvod

Indiciranje motora korišteno je odavno u razvoju parnih motora i stoga je barem jednako staro kao i sam motor s unutrašnjim izgaranjem. Prije nego je Nikolaus August Otto<sup>1</sup> prvi put pustio svoj motor u rad, već je izračunao očekivani dijagram tlaka i očekivani rad temeljen na zakonima plinova. Tako je kasnije te izračune mogao i potvrditi mjerenjem tlaka u cilindru na svom ispitnom motoru. Mehanički snimljene linije tlaka je nazvao indikatorski dijagram.

U početku razvoja motora s unutarnjim izgaranjem korišteni su mehanički indikatori, no danas su to uglavnom piezoelektrični pretvarači koji se koriste za mjerenje tlaka komore izgaranja i krivulje tlaka na usisu, ispuhu i oko sustava ubrizgavanja.

Danas se kao piezo-materijali koriste jedino kristalni materijali npr. kvarc, galij, ortosfat itd.

Osim njihovog odličnog dinamičnog ponašanja, njihove visoke kvalitete mjerenja, njihove visoke stabilnosti i vrlo dobre linearnosti, mjeriteljske značajke tih pretvarača iznad svega su neovisne o temperaturi, koja je od posebnog značaja kod mjerenja u motorima s unutarnjim izgaranjem. Ovi pretvarači imaju malo odstupanje izmjerene temperature od stvarne temperature u ciklusu, što je uvijek predstavljalo odlučan faktor pri termodinamičkom zapažanju pojava u motoru.

Napredne metode kao što su FE (engl. *Finite element*) simulacije moraju se također koristiti kako bi se dobila što manja pogreška koristeći moderne piezoelektrične pretvarače tlaka. Optimizacija motora, te što manja pogreška pri mjerenju je vrlo bitna zbog iskoristivosti motora što u velikoj mjeri utječe na trajnost motora te na potrošnju goriva.

Također je bitno za primijetiti da s obzirom na široke mogućnosti prijenosa digitalnog signala, oprema za indiciranje motora je postala standardni alat za razvoj motora. Ta oprema omogućuje osim precizne termodinamičke analize također i procjenu raznih faktora na samom ispitnom postolju.

---

<sup>1</sup> Nicolaus August Otto (rođen je 10.06.1832. god. u Holzhausen an der Haide. Umro 26.01.1891. god. u Kolnu.)

## 2. Teorija indiciranja motora

### 2.1. Osnovni utjecaji na izgaranje

Na osnovnoj razini, performanse motora s unutrašnjim izgaranjem najviše ovise o događajima u komori za izgaranje i cilindru motora.

Performanse motora ovise o mnogo faktora:

- konstrukciji komore za izgaranje i glave motora,
- strujanje punjenja u cilindru koje je definirano konstrukcijom sustava za ubrizgavanje i veličinom usisnog ventila tj. njegovim dimenzijama, oblikom, položajem, visinom podizanja i ukupnim vremenom kad je ventil podignut,
- vrijeme ubrizgavanja i točkom paljenja, položajem i karakteristikama svjeće, sustavom za ubrizgavanje, položaju brizgaljke,
- kompresijskom omjeru,
- omjerom zraka i goriva,
- karakteristikama goriva,
- pripremi smjese goriva i zraka,
- povratu ispušnih plinova u cilindar,
- stupanju hlađenja stijenke cilindra, klipa.

### 2.2. Dijagrami tlaka u cilindru

Mnogo je tehnologija razvijeno za istraživanje procesa izgaranja. Najstarija je direktno promatranje procesa širenja plamena, koristeći vrlo brzo fotografiranje kroz otvor (prozor) izrađen od kvarcnog stakla. Najnovija tehnologija koristi ionizirane detektore plamena koji prate širenje plamena i udio izgorjelog goriva, također se koristi i vruća žica i Doppler anemometrija. Standardni alat za proučavanje procesa izgaranja je indikator tlaka u cilindru. Uz tlak u cilindru, razne druge veličine također moraju biti mjerljive, koristeći odgovarajuće pretvarače, bilo na vremenskoj bazi ili sinkronizirano s položajem koljenastog vratila.

Oni mogu uključivati:

- tlak u vodu goriva i podizanje igle brizgaljke,
- tlak u cilindru,
- ionizacijski signali,
- kut koljenastog vratila,
- vrijeme,
- trenutak paljenja smjese,
- usisni i ispušni tlak,
- promjenjive (kvazi statičke) temperature.

Svaki signal zahtjeva pojedinačne tretmane i odgovarajuće metode snimanja. U nekoliko posljednjih godina brzina prikupljanja podataka se povećala i trenutno sustavi rade do 1 MHz na 16 kanala [1].

Analiza izgaranja podrazumijeva da su sve stavke u procesu razumljive, pogotovo dijela koji se tiče profila oslobađanja topline. Cilj analize izgaranja je dobiti dijagrame udjela izgorjele mase goriva (u slučaju motora paljenog pomoću svjećice) ili kumulativnog oslobađanja topline (u slučaju Diesellovog motora) u odnosu na vrijeme ili zakret koljenastog vratila. Dobivene veličine uključuju brzinu izgaranja ili oslobađanja topline u ovisnosti o stupnju koljenastog vratila, te analizu toplinskog toka na osnovi prvog zakona termodinamike.

Stone i Green-Armytage [7] opisuju pojednostavljenu tehniku za izvođenje dijagrama brzine izgaranja iz indikatorskog dijagrama koristeći klasičnu metodu Rassweiler i Withrow [8].

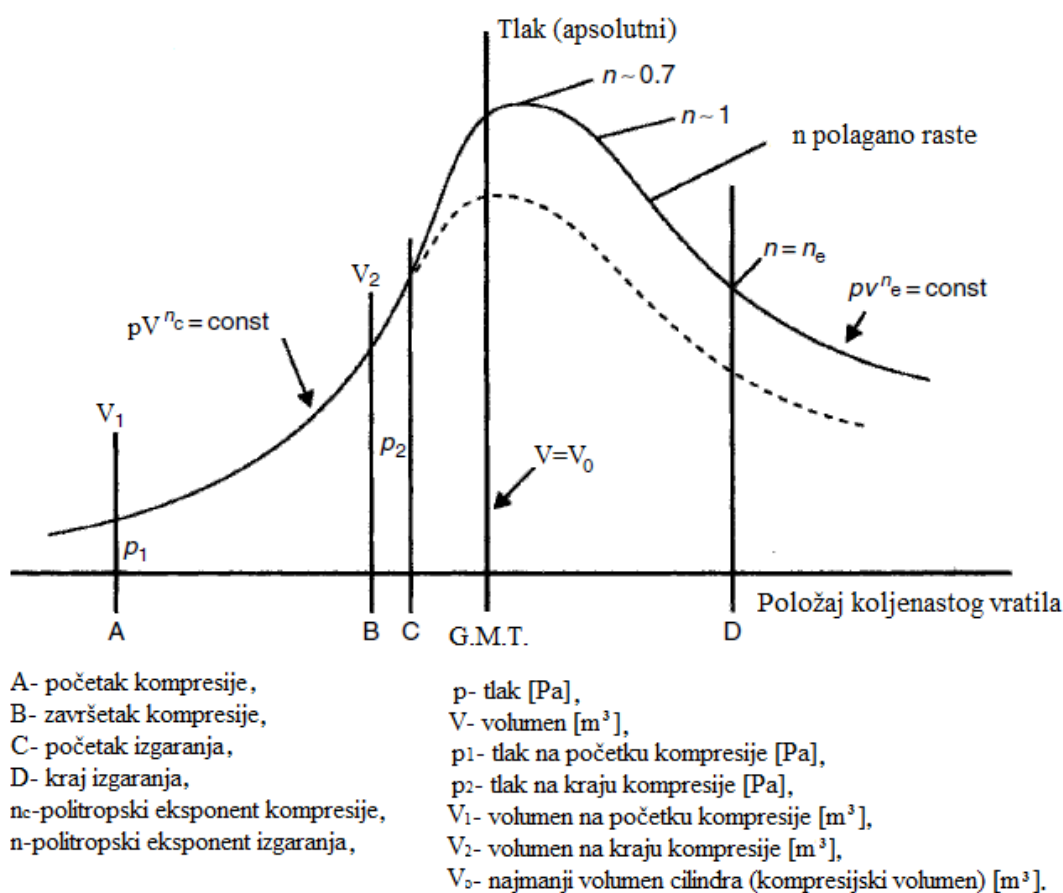
Njihova tehnika se uzima kao polazište za razmatranje procesa izgaranja u stalnom volumenu kalorimetra. Nakon toga se pretpostavlja da je izgorjela masa i oslobođena energija, u bilo kojoj fazi postupka, direktno proporcijalna porastu tlaka.

Na sličan se način odvija i izgaranje u motoru, ali razlika je što se to u motoru ne odvija pri konstantnom volumenu.

Postoje tri različita utjecaja koje treba uzeti u obzir:

- promjene tlaka zbog izgaranja,
- promjene tlaka zbog promjene volumena,
- promjene tlaka nastale zbog prijenosa topline prema ili od pripadajućim stjenkama.

Na slici **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1.** prikazuje se dijagram tlaka u ovisnosti o zakretu koljenastog vratila.



**Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1. Dijagram tlaka [1]**

Pomoću kompresije koja se odvija od točke A sa stanjem  $v_1, p_1$  do točke B sa stanjem  $v_2, p_2$  može se izračunati eksponent kompresije:

$$n_c = \frac{\log(p_1/p_2)}{\log(v_1/v_2)}$$

Vrijednost eksponenta  $n_c$  tijekom kompresije će biti oko 1.3, za usporedbu vrijednost eksponenta adijabatske kompresije zraka je 1.4. Manja vrijednost je rezultat gubitka topline preko stijenke cilindra te u slučaju motora kod kojih se smjesa zapali svjećicom postoji gubitak topline koja je potrebna za isparavanje goriva. Početak izgaranja počinje u točki C pri kojoj dvije krivulje počinju divergirati, dok u točki D dolazi do završetka izgaranja. Indicirani rad procesa je najveći ako je težište izgaranja (točka do koje je izgorjelo 50% goriva unešenog u proces) oko  $10^\circ KV$  iza GMT. Tokom ekspanzije vrijednost  $n$  mijenja se u širokom rasponu, ali prema kraju procesa konvergira prema vrijednosti 1.3.

Polazna točka je dijagram dobiven vanjskim pogonom motora pri čemu ne dolazi do izgaranja u motoru te se dobiva krivulja promjene tlaka u ovisnosti o zakretu koljenastog vratila prikazana isprekidanom linijom.

Ovaj dijagram se dobiva prekidanjem paljenja ili ubrizgavanja za jedan ciklus i snimanjem odgovarajućeg dijagrama tlaka.

Pomoću kočnica za kočenje motora može se izraditi dijagram bez paljenja motora. Danas se prednost daje električnim kočnicama s asinhronim generatorom koji može raditi u generatorskom i u motornom području. Takva kočnica nam omogućuje da kočimo motor ili da ga guramo (kao što npr. vozilo pri kočenju svojom inercijom ili na nizbrdici pogoni motor vozila).

Alternativna, manje točna metoda je da se postavi politropska kompresijska linija na kompresijski dijagram prije početka izgaranja i na taj način se obrade potrebne vrijednosti uz pretpostavku da je politropski eksponent  $n_c$  u izrazu  $p v^{n_c} = \text{konstanta}$  ostaje nepromijenjen kroz ostatak takta kompresije.

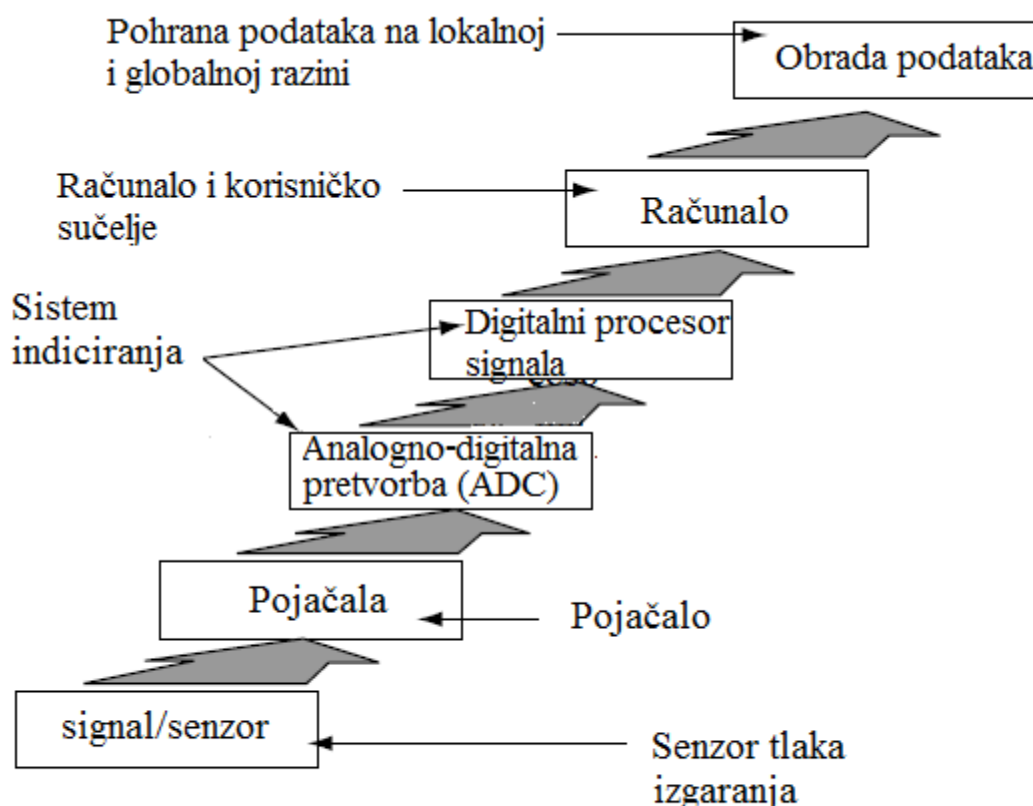


### 3. Oprema za indiciranje motora i njezine karakteristike

Tijekom posljednjih nekoliko godina indiciranje se je razvilo u vrijednu, vrlo naprednu metodu za analizu i optimizaciju izgaranja. Korištenje senzora uz potporu računala za prikupljanje podataka su dosegli visoki napredak ne samo da omogućavaju da se indiciranje koristi kao mjerna tehnika, nego da i zadovoljava zahtjeve točnosti kojima se omogućuje dobivanje opširnijih informacija iz analize dijagrama tlaka (vidi sliku Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1.)

- Indiciranje je razvojni alat za brzu optimizaciju izgaranja motora
- Niti jedan drugi mjerni postupak ne daje toliko informacija o pojavama u cilindru

Kada se pravilno primjenjuje, indiciranje je pouzdana metoda mjerenja i kao takva može se koristiti kao standardna mjerna tehnologija u razvojnim ispitnim stanicama.



Slika **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1.** Proces dobivanja podataka [1]

Na slika Pogreška! **Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1.** je opisan proces dobivanja podataka koji se u osnovi sastoji od sljedećih komponenti:

- **Piezoelektrični pretvarači tlaka**

Rade na principu elektrostatskog naboja koji stvaraju određeni kristali pri mehaničkom opterećenju. Oni dakle predstavljaju aktivni mjerni element kod kojeg je izlazni naboj proporcionalan opterećenju tj. tlaku plinova.

- **Pojačalo naboja**

Naboj stvoren pomoću piezoelektričnih pretvarača tlaka pretvoren je u naponski signal pomoću pojačala naboja. Signal se zatim vodi u opremu za prikupljanje i obradu podataka (sistem indiciranja) na daljnju obradu.

- **Prijenosnici signala**

Koriste se za prijenos naboja i naponskih signala. Zbog niskog električnog izlaznog naboja iz pretvarača tlaka, veza između pretvarača i pojačala naboja je od velike važnosti.

Prijenosnici i pojačala naboja moraju biti izolirani da se izbjegnu smetnje i šumovi.

- **Senzor položaja koljenastog vratila**

Ugrađen je na slobodni kraj koljenastog vratila motora te daje kut zakreta koljenastog vratila što povezujemo s dijagramom tlaka

- **Komponente za prikupljanje i prilagodbu signala**

Oprema se sastoji od analognog/digitalnog pretvarača (ADC *engl. Analogue to Digital Conversion*), jedinica za prikupljanje podataka na osnovi položaja koljenastog vratila (CAM-C *engl. Crank Angle Marker Control Unit*) i brzoi memoriji za privremenu pohranu neobrađenih podataka. Podaci se uzimaju iz memorije i pomoću računala koje je već integrirano u nekim sustavima se izračunavaju, pohranjuju i prikazuju rezultati indiciranja. Analogni signali su kontinuirani pa mogu imati bilo koju od beskonačno mnogih vrijednosti. Digitalni signali su diskretni. Ova oprema mora imati visoku rezoluciju kako bi mogla mjeriti male promjene napona, te veliku brzinu obrade signala kako bi mogla pratiti vrlo brze promjene.

Na primjer ako se motor okreće brzinom od 3000 min<sup>-1</sup>, znači da svake sekunde napravi 50 okretaja, što znači da svaki puni okretaj traje 0.02 s. Tlak se može povećati za 100 bar u 10° okreta, odnosno u  $0.02 \times 360 / 10 = 0.00056$  s.

- **Hlađenje pretvarača tlaka**

Vodeno hlađeni pretvarači tlaka su često korišteni za precizno mjerenje tlaka. Oni moraju biti kontinuirano hlađeni tijekom rada, a to zahtjeva instalaciju prikladnog sustava za hlađenje

- **Monitor**

Mjerni signali mogu biti vizualno pregledani na samoj opremi za indiciranje, ili ako oprema nema monitor, tada se mogu promatrati pomoću osciloskopa.

### 3.1. Pretvarači indiciranja tlaka motora

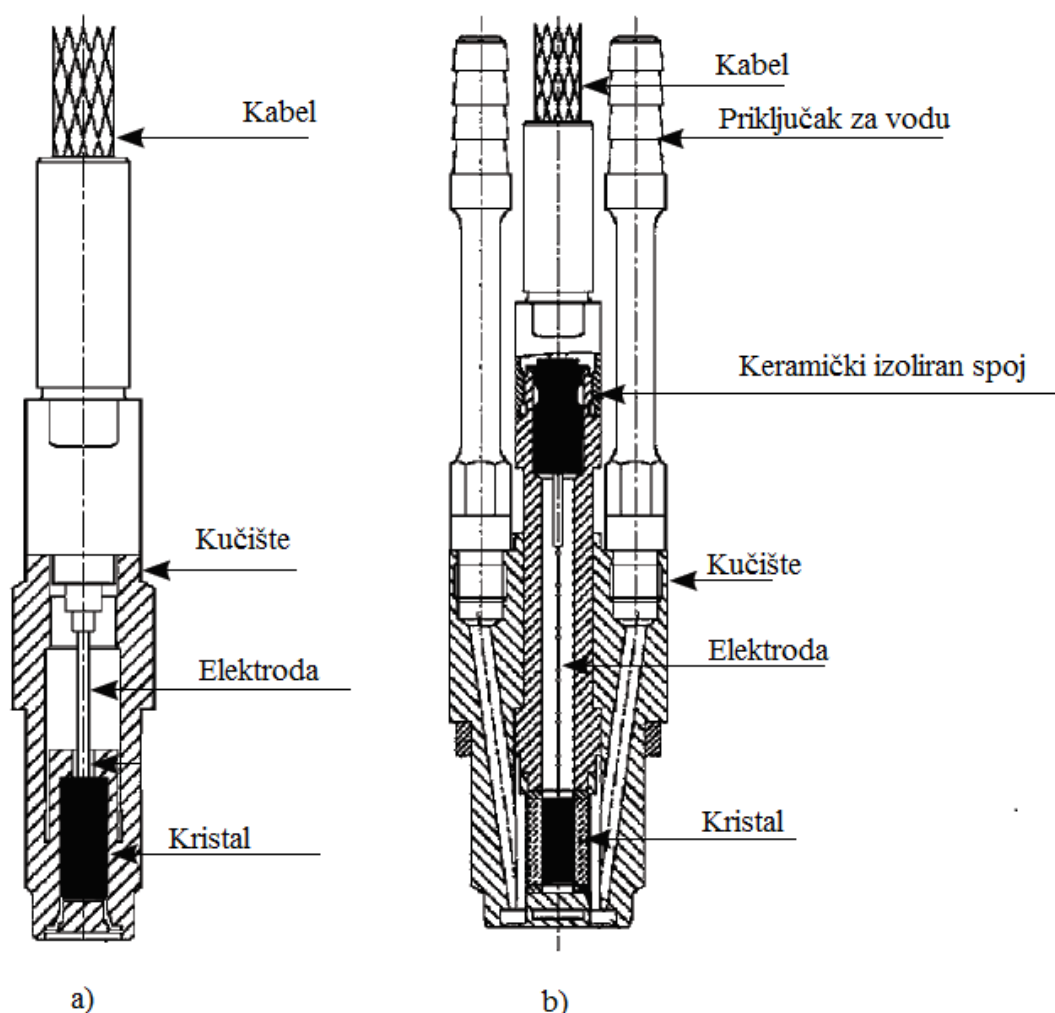
Pretvarači indiciranja tlaka motora (engl. *Engine Indicating Pressure Transducers*, EIPT) imaju vrlo važnu ulogu u procesu mjerenja tlaka u cilindru pri indiciranju bilo kojeg motora i izradi analize procesa izgaranja. Problem kod mjerenja tlaka je što se velike promjene tlaka događaju u izuzetno kratkom vremenu, pa ih je teško pratiti. Osim toga, senzor treba biti vrlo kompaktan kako bi se mogao smjestiti što bliže cilindru kako ne bi došlo do kašnjenja mjerenog poremećaja tlaka ili do valnih pojava. To se uspješno rješava sa piezoelektričnim pretvaračima tlaka. Indicirani tlak nam omogućuje, uz mjerenje kuta koljenastog vratila, izračun indiciranog rada i srednjeg efektivnog tlaka.

Izbor pretvarača tlaka iz širokog spektra komercijalnog dostupnih, njihovo pravilno postavljanje na motor i integracija unutar sustava kalibracije, su vitalni sastojci u dobivanju optimalnih rezultata.

Zbog temperaturnog utjecaja kod procesa izgaranja kod kojeg bi temperature porasle iznad 200 °C došlo bi do prestanka rada pretvarača tlaka. Zbog toga većina pretvarača tlaka indiciranja motora (EIPT) su hlađeni vodom. Vodeno hlađeni EIPT-i će raditi u većini motora sa unutarnjim izgaranjem uključujući turbo punjene varijante ali je važno da sustav hlađenja zadovoljava sljedeće uvjete:

- Sustav hlađenja mora povezan sa sustavom za paljenje motora kako bi se osiguralo da je hlađenje pretvarača uključeno prije pokretanja motora i za vrijeme rada motora,
- Voda koja se koristi za hlađenje treba biti destilirana i filtrirana. Pretvarači imaju jako male promjere kanala za hlađenje koji će se zablokirati ili začepiti ako se ovoga ne pridržava,
- Protok vode treba biti pri što manjem konstantnom tlaku da se izbjegnu unutarnje promjene tlaka u pretvaraču koje bi mogle prouzročiti ometanje izlaznog signala iz pretvarača.

Nehlađeni EIPT-i se konstantno razvijaju i trenutno rade na temperaturama iznad 400°C što pokriva većinu motora bez prednabijanja i varijanti za moto sport.



*Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..2. Piezoelektrični pretvarači a) bez hlađenja; b) s hlađenjem [3]*

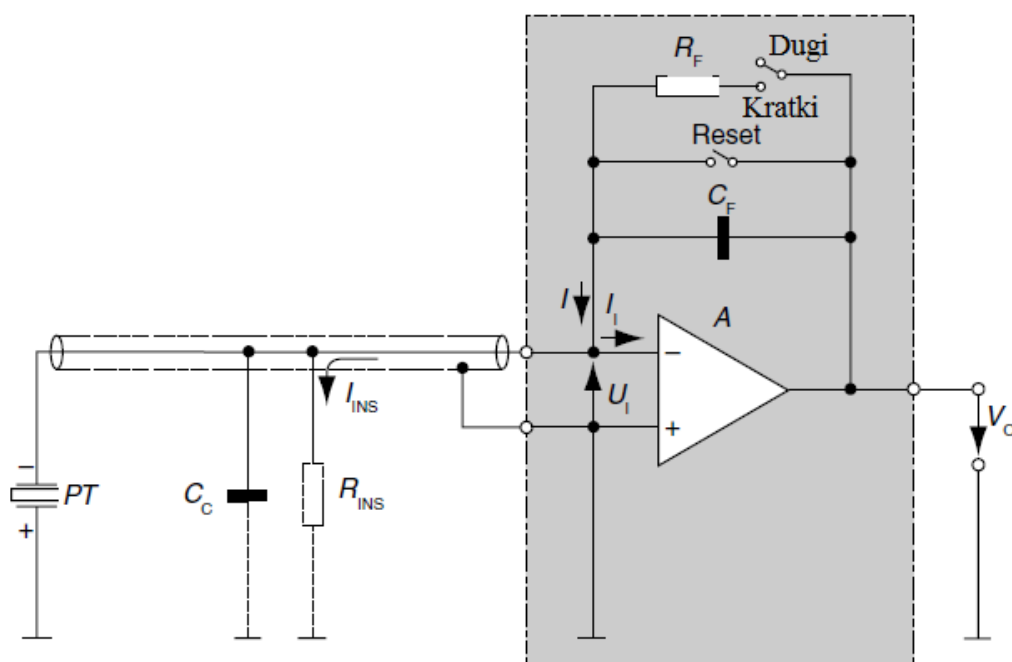
### 3.2. Pojačalo naboja

Svrha nabojskog pojačala je da pretvori naboj u korisni napon na izlazu. Osnovni dijagram strujnog kruga je prikazan na slici **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..3.** Nabojsko pojačalo se sastoji od pojačala i kondenzatora ( $C_G$ ). Kada je dobiven naboj od strane piezoelektričnog pretvarača tlaka (PT) dolazi do malog povećanja napona na ulazu u pojačalo (A). Ovo povećanje se pojavljuje istovremeno na izlazu značajno pojačano i invertirano.

Kondenzator ( $C_F$ ) istovremeno uzima naboj s ulaza i održava mali porast napona na ulazu u pojačalo.

Na izlazu iz pojačala (A), napon ( $V_0$ ) podešava se tako da uzima dovoljno naboja iz kondenzatora da dozvoli preostalom ulaznom naponu da postigne točno  $V_0$  kada ga poveća A. S obzirom da je faktor porasta od A vrlo velik (do oko 100 000), ulazni napon ostaje praktički

nula. Izlaz naboja iz pretvarača tlaka ne koristi se u povećanju napona na ulaznim kondenzatorima već ga izdvaja povratni kondenzator.



Slika **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..3.** Shema strujnog kruga pojačala naboja [1]

S dovoljno velikim povećanjem otvorenog strujnog kruga kapaciteti vodiča i senzora mogu se zanemariti, stoga promjene u ulaznim kapacitetima zbog različitih vodiča različitih kapaciteta (CC) nemaju utjecaja na rezultat mjerenja. Izlazni napon ovisi samo o ulaznom naboju i kapacitetu zbog duljine. To jest:

$$V_0 = Q / C_F \quad (3.1.)$$

Gdje je:  $V_0$ - izlazni napon [V],  $Q$  - ulazni naboj [C],  $C_F$ - kapacitet [F].

Izlaz se generira samo kada se dogodi promjena stanja. Zbog toga piezoelektrični pretvarači i nabojsko pojačalo ne mogu vršiti prava statička mjerenja.

Iako je mjerni lanac naponskog pojačala (slika **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..3.**) vrlo precizan i pouzdan, te je i tehnika gotovo univerzalno prihvaćena za mjerenje tlaka izgaranja ipak postoje važne činjenice i mjerne karakteristike koje se moraju razmotriti.

- *Klizanje (engl. Drift)* – Ako tlak na pretvaraču ostaje konstantan za očekivati je i konstantan napon na izlazu iz pojačala, ali zbog klizanja to nije slučaj. Klizanje se definira kao promjena na izlazu signala tj. naponu, a događa se zbog pražnjenja kondenzatora i odstupanja od ulaznog napona. Do postepenog pražnjenja kondenzatora dolazi zbog ne beskonačnog otpora izolacije. U svrhu suzbijanja klizanja mogu se poduzeti sljedeće mjere: Korištenje izolacije visokih vrijednosti,

„SHORT“ način rada (spajanje dodatnog otpornika u paralelu), kompenzacija klizanja pomoću dodatne kompenzacijske struje na ulazu jednakog iznosa kao i struja koja prolazi kroz izolaciju.

- *Vremenska konstanta (engl. Time constant)* - određuje se kao produkt kondenzatora i vremenski ovisnog otpornika. Označava vremenski period  $RC$  jedinice (npr kombinacija otpornik - kondenzator) u kojoj bi se kondenzator ispraznio tek kada bi struja pražnjenja postigla svoju početnu vrijednost

$$\tau = RC \quad (3.2.)$$

Gdje je:  $\tau$ - vremenska konstanta,  $R$ -vrijednost otpornika [Q],  
 $C$ - kapacitet kondenzatora [F].

Brzina porasta izlaznog napona ovisi o vremenskoj konstanti. Što je konstanta  $\tau$  manja izlazni napon brže raste. Smanjenje konstante  $\tau$  postiže se smanjivanjem otpora  $R$  ili smanjenjem kapaciteta  $C$ . Manji otpor daje veću struju nabijanja kapaciteta i brži porast izlaznog napona. S druge strane, uz istu struju nabijanja, manji se kapacitet brže nabija. To je važan faktor u ocijeni piezoelektričnog mjernog sustava za mjerenje vrlo sporih fenomena u motoru (brzina pokretanja motora) bez značajnih grešaka zbog pražnjenja kondenzatora. Mnoga nabojna pojačala imaju promjenjive vremenske konstante koje se podešavaju mijenjanjem vremenske konstante otpornika.

Klizanje i vremenska konstanta istovremeno utječu na izlaz nabojskog pojačala. Jedno ili drugo će biti dominantno. Postoji nekoliko metoda dostupnih u tehnologiji modernih pojačala koje suzbijaju električno klizanje. Moderna tehnologija nabojskog pojačala sadrži sklop za kompenzaciju električnog klizanja.

Moguće je održati ekstremno visoke vrijednosti izolacije na pretvaračima tlaka, ulazu u pojačalo, vodičima i pripadajućim spojevima te gubitak struje može biti minimaliziran. Obzirom da bi se to postiglo oprema mora biti čista te očišćena od prašine i masti prema laboratorijskim standardima. U praksi okolina ispitne stanice za testiranje motora ne omogućuje ovaj nivo čistoće i ova metoda prevencije klizanja nije proporcionalna. Korištenje pojačala u kratkom vremenskom konstantnom modu znači da klizanje zbog odstupanja ulaznog napona može biti ograničeno na određenu vrijednost te zbog toga može izbjeći klizanje do zasićenja.

- *Filtriranje (engl. Filtering)*- koristi se u nabojskom pojačalu da bi se uklonile određene frekvencije iz signala. Postoje filtri niskog i visokog prolaza. Filtar niskog prolaza se koristi kod uklanjanja visokih frekvencija, interferentnih signala iz mjernog signala npr. signali koje se prenose kroz konstrukciju motora do pretvarača. Tipično se visoko prolazni filtri koriste da bi se uklonile neželjene komponente visokih frekvencija za potrebe mjerenja izgaranja npr. kod analize detonantnog izgaranja.

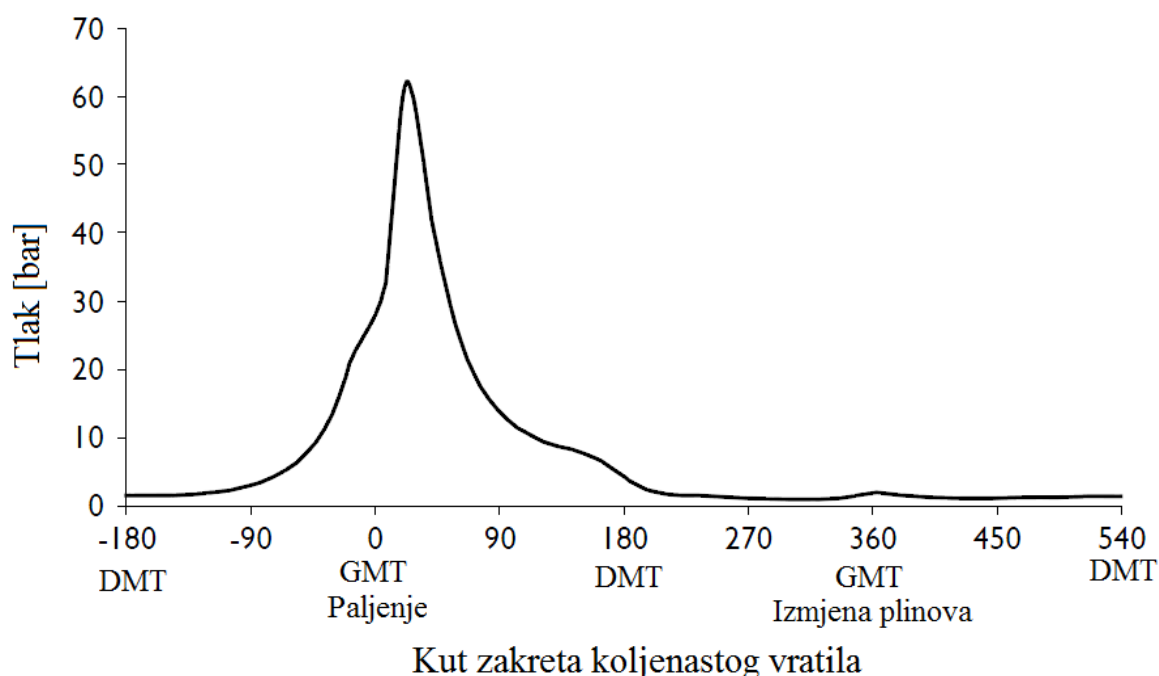
Visoko prolazni filtri će dozvoliti optimizaciju ulaznog raspona na mjernom sustavu da bi osigurao najbolju moguću pretvorbu analognog u digitalni signal. Kada se koriste električni filtri dolazi do određenog pomaka u fazi te to može stvarati greške koje se moraju uzeti u obzir. Na primjer bilo koji fazni pomak ima negativni efekt na točnost određivanja srednjeg indiciranog efektivnog tlaka kada se koristi filter niskog prolaza. Što je veća brzina motora to je veća najmanja dozvoljena frekvencija filtriranja. Kao opće pravilo u svrhu izbjegavanja neprihvatljivog pomaka faze glavna frekvencija signala tlaka cilindra mora biti najmanje 1% veća od frekvencije filtriranja [1].

### 3.3. Visokotlačno indiciranje

Visokotlačno indiciranje mjeri tlak unutar cilindra motora s unutarnjim izgaranjem (slika **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..4.**)

Mjerno područje općenito uključuje cijeli ciklus motora, ali također može biti ograničeno na određenom rasponu kuta zakreta koljenastog vratila ovisno o mjernom zadatku.

Visokotlačno indiciranje u komori za izgaranje obično se provodi s piezoelektričnim pretvaračima tlaka, koji je ugrađen u komoru za izgaranje, u svjećicu ili u brizgaljku.



Slika **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..4.** Tlak kod visokotlačnog indiciranja

**3.3.1. Parametri indiciranja**

U osnovi možemo ih podijeliti u dvije kategorije:

- izravni
- i neizravni parametri indiciranja.



### 3.3.1.1. Izravni parametri

Određuju se izravno iz krivulje tlaka u cilindru tijekom ciklusa. Mogu se jednostavno i brzo izračunati. Mnogi od njih se isto tako mogu izračunati prije kraja potpunog ciklusa motora. Općenito, manje su osjetljivi i bilo koja greška u signalu proporcionalno će stvoriti grešku u dobivenom rezultatu. Izravni parametri indiciranja prikazani su u tablici **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1.**

### 3.3.1.2. Neizravni parametri

Vrijednosti za čiji su izračun potrebni, uz dijagram tlaka, i drugi parametri (npr. kočni moment, geometrija bregastog vratila) nazivamo neizravnim parametrima indiciranja (tablica **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1.** ). Na primjer, prije nego što se može izračunati početak izgaranja, mora se izračunati dijagram oslobađanja topline (brzine izgaranja) iz dijagrama tlaka.

Tipični neizravni parametri indiciranja interpretiraju se kao što je prikazano u tablici **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..2.**

*Tablica **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1.** Parametri indiciranja*

Izravni parametri indiciranja	Neizravni parametri indiciranja
Najveći tlak $p_{\max}$	Srednji indicirani efektivni tlak IMEP
Položaj najvećeg tlaka	Srednji efektivni tlak trenja
Porast tlaka	Početak izgaranja
Položaj najvećeg porasta tlaka	Trajanje izgaranja
Brzina porasta tlaka	Pretvorba energije
Detekcija detonantnog izgaranja	Udio izgorjele mase goriva
Vrijeme ubrizgavanja	Buka izgaranja
Nepravilno paljenje	Izračun oslobođene topline (dQ, integral)
	Temperatura izgaranja
	Izračun brzine gorenja
	Gubici zbog izmjene plinova
	Gubici zbog trenja
	Izračun zaostalih plinova

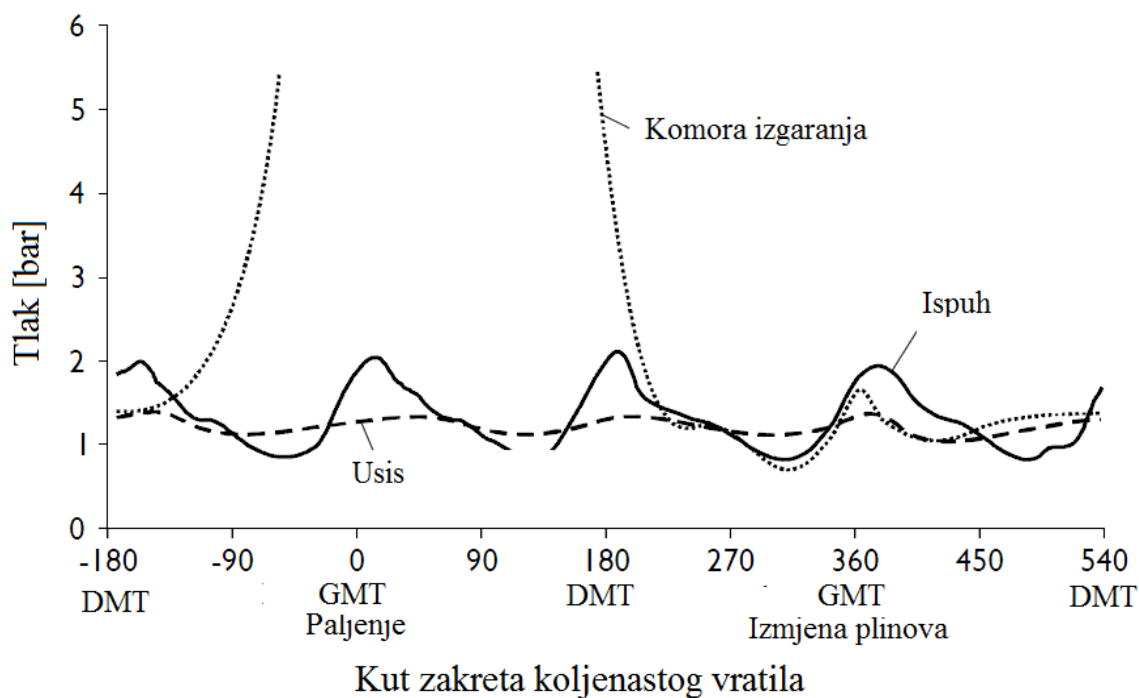


**Tablica Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..2. Interpretacija neizravnih parametara**

<i>Rezultat</i>	<i>Interpretacija</i>
Udio izgorjele mase 0-5%	Početak izgaranja, rani porast plamena
Udio izgorjele mase 50%	Korelacija s MBT-om (eng. <i>Maximum Brake Torque</i> ) za Otto motore
Udjeli izgorjele mase 0-5% i 10-90%	Kraj izgaranja, turbulentni porast plamena
Najveći tlak u cilindru i kut koljenastog vratila	Opterećenje glave cilindra, mehaničke granice
Ukupni rad tijekom kompresije i ekspanzije	Mehanička iskoristivost i gubici zbog trenja
Koeficijent promjene srednjeg efektivnog indiciranog tlaka IMEP	Indikator stabilnosti

### 3.4. Indiciranje niskog tlaka

Općenito se koristi za dovođenje u odnos kuta zakreta koljenastog vratila i tlaka u usisnoj i ispušnoj grani motora s unutarnjim izgaranjem, vidi sliku **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..5.** Kao i kod indiciranja pri višem tlaku, mjerenje se obično vrši tijekom cijelog ciklusa. U nekim slučajevima, izraz indiciranje niskog tlaka je također korišten za mjerenje niskog tlaka kod komore izgaranja sa specijalnim pretvaračima.



**Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..5. Dijagram ovisnosti tlaka o kutu zakreta koljenastog vratila [2]**

Analiza izmjene plinova u osnovi se koristi za:

- Oblikovanje usisnog i ispušnog sustava
- Oblikovanje kontrolnih uređaja (ventila, bregova bregastih vratila)
- Procjenu rada potrebnog za izmjenu plinova
- Analiza masenog protoka usisnih i ispušnih plinova (punjenja cilindra, zaostalih plinova, povratnog strujanja)

Ako dinamički procesi plinova u usisnoj grani/komori izgaranja nisu uzeti u obzir pri analizi izmjenjenih plinova, važno je da su pretvarači niskog tlaka što bliže ventilima.

Piezorezistivni i piezoelektrični pretvarači se koriste za niske tlakove indiciranja.

Osnovni parametri za analizu izmjene plinova su:

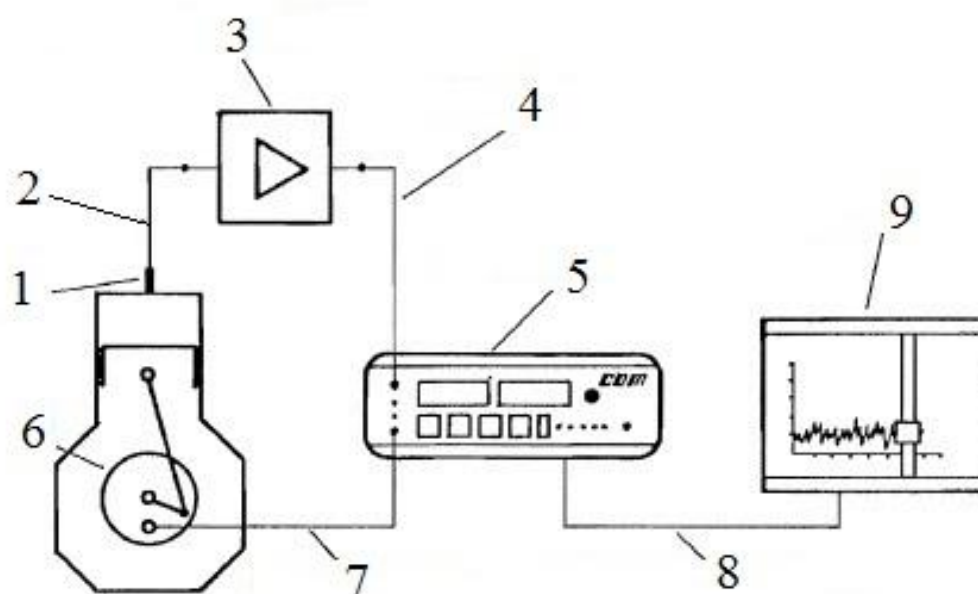
- Izmjerena krivulja tlaka u usisnoj cijevi, komori izgaranja i ispuhu
- Točne krivulje podizanja ventila
- Koeficienti protoka

Važno je za analizu izmjenjenih plinova da se niskotlačno indiciranje provodi zajedno s visokotlačnim indiciranjem. Drugim riječima, tri tlaka se mjere istovremeno za svaki cilindar: tlak u usisnoj cijevi, tlak izgaranja i tlak ispuha. Samo s takvom konfiguracijom se može dobiti analiza oslobođene topline i izmjene plinova u motoru.

#### 4. Uređaji za indiciranje motora

Uređaji koji se koriste prilikom indiciranja motora povezuju se u mjerni lanac. Mjerni lanac se sastoji od piezoelektričnih pretvarača tlaka koji daju električni naboj, proporcionalan tlaku u cilindru. Pomoću pojačala naboj se pretvara u dovoljno velik napon (0....10V) koji pojačalo šalje u Pi-meter pomoću BNC kabla koji se spaja u poziciju broj 1) na slici 4.6. Encoder šalje signal u CAM elektroniku iz koje CDM kabelom dolazi u Pi meter. Pi meter obrađuje signale i daje nam željene podatke.

Na slici **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1.** su opisani svi ključni elementi koji se koriste pri indiciranju motora



**Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1.** Shema mjernog lanca [1]

Oni uključuju sljedeće elemente:

- 1) Pretvarač tlaka motora- mjeri tlak u cilindru motora
- 2) Kabel pretvarača tlaka- povezuje pretvarač tlaka i naponsko pojačalo
- 3) Naponsko pojačalo- pretvara naboj dobiven sa pretvarača tlaka u mjerljivi napon
- 4) BNC (engl. **B**ayonet **N**eill-**C**oncelman) kabel- povezuje naponsko pojačalo sa Pi-meterom
- 5) Pi-meter- za pojačavanje signala i njegovu obradu
- 6) CAM (engl. **C**rank **A**ngle **M**arker) enkoder i CAM elektronika- za očitavanje analognog signala kuta zakreta, te za pretvaranje tog istog analognog signala u digitalni signal
- 7) CDM (engl. Crank Angle Degree Marker) kabel- spajanje CDM jedinica sa Pi-meterom

8) Kabel printera- povezuje printer sa Pi-meterom

9) Printer- služi za ispis dobivenih rezultata

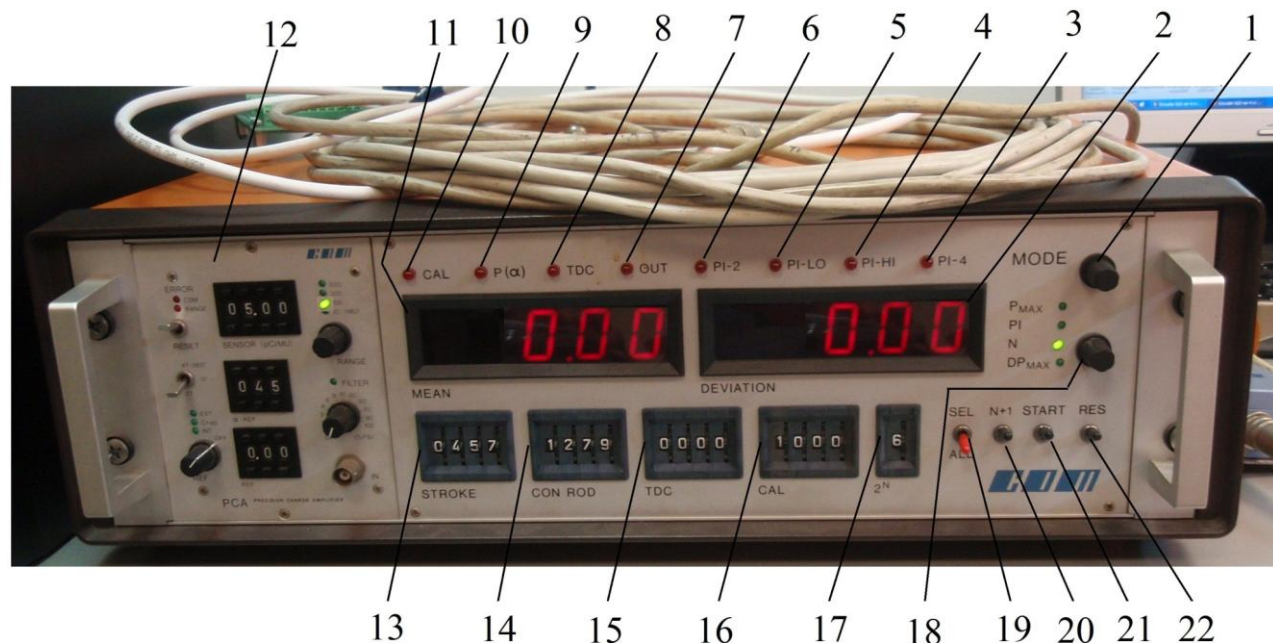
Prilikom rada s ovim sustavom za indiciranje motora treba voditi računa o sljedećim faktorima koji su detaljnije opisani u proizvođačevoj dokumentaciji: o utjecaju faktora na mjernu točnost, kalibraciji sustava, određivanju gornje mrtve točke, mjerenju tlaka u određenoj točki, izračunu IMEP (*engl. Indicated mean effective pressure*), izračunu najvećih vrijednosti.

#### 4.1. Pi meter

Pi-meter je uređaj koji se koristi za indiciranje motora. On u realnom vremenu mjeri i izračunava srednji efektivni tlak motora (IMEP).

Pored IMEP-a određuje i mjeri sljedeće parametre:

- 1) Određuje gornju mrtvu točku (GMT)
- 2) Mjerni raspon skale
- 3) Odvojeni izračun IMEP-a za cijeli ciklus i za dijelove koji su pri niskom i visokom tlaku
- 4) Statističku ocjenu promjene vršnog tlaka i njegovog položaja
- 5) Mjerenje i statističku ocjenu za tlak pri određenom položaju koljenastog vratila
- 6) Izračun  $pV$  i  $p\alpha$  dijagrama za cjeli ciklus

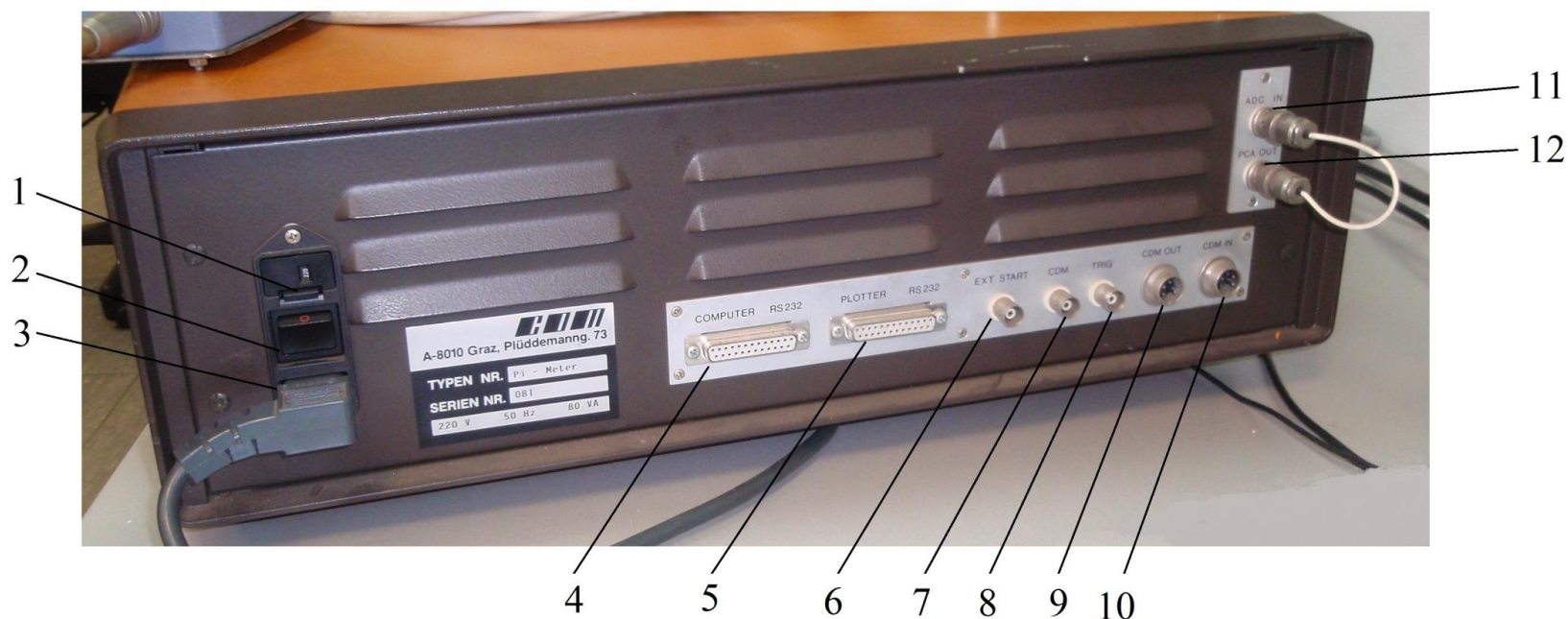


- 1) izbornik radnog moda,
- 2) ekran koji prikazuje devijaciju mjerne veličine,
- 3) žaruljica- uključena pri mjerenju IMEP-a za cijeli ciklus,
- 4) žaruljica - uključena pri mjerenju IMEP-a za dio ciklusa kod kojeg je viši tlak,
- 5) žaruljica - uključena pri mjerenju IMEP-a za dio ciklusa kod kojeg je niži tlak,
- 6) žaruljica - uključena pri mjerenju IMEP-a za 2-taktne motore,
- 7) žaruljica - uključena pri izlazu podataka za pisač,
- 8) žaruljica - uključena pri određivanju GMT-a,
- 9) žaruljica - uključena pri mjerenju tlaka pri određenom položaju koljenastog vratila,
- 10) žaruljica - uključena pri kalibracijskoj ocjeni promjene tlaka,
- 11) ekran koji prikazuje srednju vrijednost, GMT i faktor kalibracije (V/bar),

- 12) naponsko pojačalo,
- 13) unos duljine hoda klipa  $h$ , mm,
- 14) unos duljine klipnjače  $l$ , mm,
- 15) unos položaja GMT  $\alpha$ , °,
- 16) unos kalibracijskog faktora (mV/bar),
- 17) unos broja mjernih ciklusa,
- 18) prekidač za odabir ekrana,
- 19) izborni prekidač za izbor prikaza rezultata,
- 20) N+1 prekidač za prikaz iduće mjerne vrijednosti,
- 21) prekidač za pokretanje (start) mjernog procesa,
- 22) prekidač za ponovno pokretanje procesa.

Slika **Pogreška!** Za dodavanje **Heading 1** tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu **Početo..2**. Fotografija s oznakama uređaja **Pi meter**



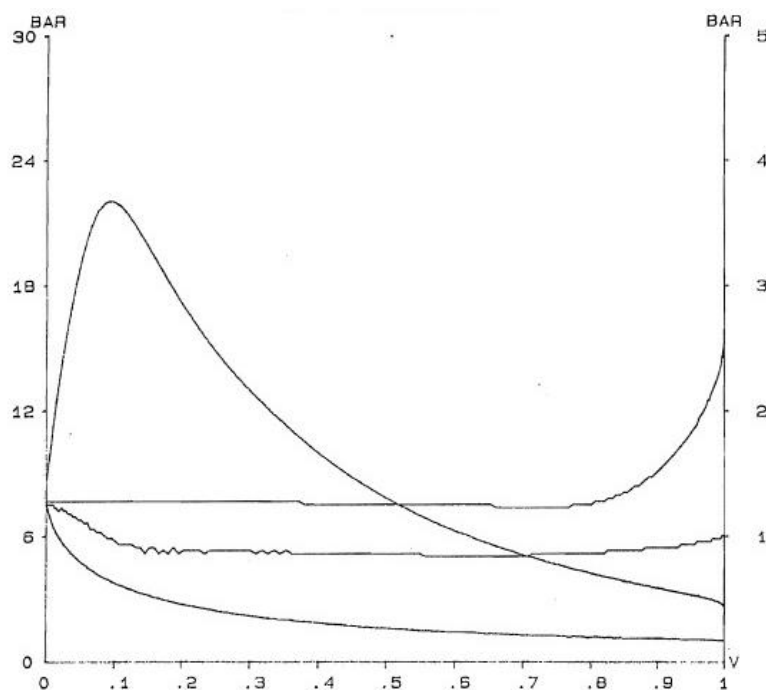


- 1) osigurač,
- 2) prekidač za uključivanje,
- 3) utičnica za napajanje,
- 4) priključak za računalo,
- 5) priključak za pisac,
- 6) ulaz za vanjski signal,

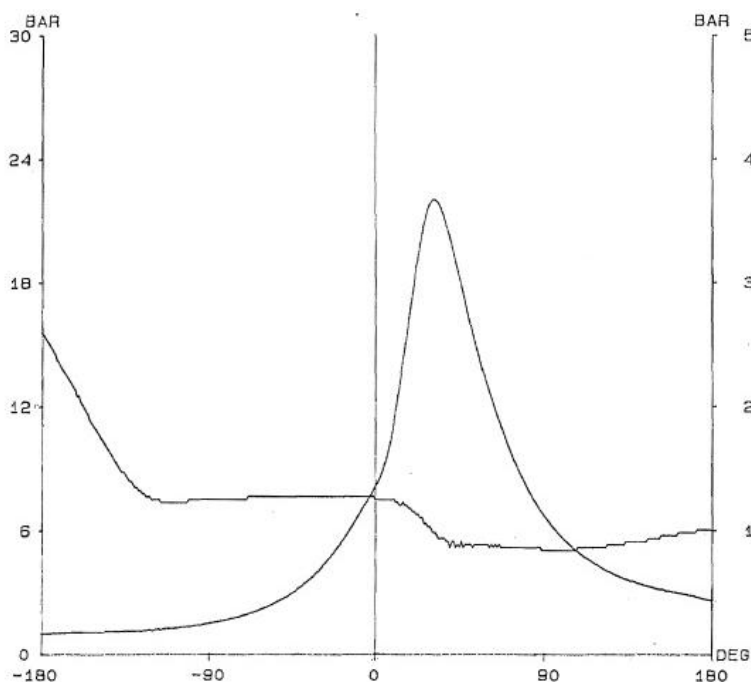
- 7) konektor CDM senzora za očitavanje položaja koljenastog vratila,
- 8) izlaz od brojača okretaja koji se koristi za druge mjerne instrumente,
- 9) izlaz signala od CDM senzora za očitavanje položaja koljenastog vratila,
- 10) ulaz od CDM senzora za očitavanje položaja koljenastog vratila,
- 11) ulaz za mjerenje signala iz pojačala ili iz pretvarača tlaka, ako je pojačalo PCA instalirano u kućištu Pi-meter-a,
- 12) izlaz iz pojačala.

*Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..3. Fotografija stražnje strane Pi metra*

Izlazni parametri iz Pi-metera su sljedeći: izlazni podaci za ispis na pisaču (tipičan izgled ispisanih p-V i p- $\alpha$  dijagrama prikazan je na slici **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..4.** i **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..5.**), prijenos podataka na računalo koje ima odgovarajuće programe, kontrola Pi-metera pomoću računala, prikaz mjerenih podataka na zaslonu računala, pohrana podataka na računalo.



Slika **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..4.** Prikaz p-v dijagram [2]



**Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..5. Prikaz  $p-\alpha$  dijagram [2]**

#### 4.1.1. Procedura mjerenja Pi meterom

##### 4.1.1.1. Utjecajni faktori na preciznost mjerenja

Prije samog mjerenja Pi meterom treba voditi računa o preciznosti mjerenja te je potrebno prvo utvrditi da li je sustav sposoban postići zadovoljavajuću preciznost.

Na preciznost mjerenja utječu sljedeći faktori:

- Pretvarači tlaka, te stoga treba koristiti vodom hladene pretvarače.
- Uređaj za mjerenje položaja koljenastog vratila mora biti precizno i čvrsto postavljen.
- Spojni kablovi trebaju biti suhi i ne smije biti oštećena izolacija.
- Naponsko pojačalo mora raditi samo u linearnom području.

##### 4.1.1.2. Kalibracija sustava (Način rada za kalibraciju CAL)

Broju koji je prikazan na poziciji 17 na slici 4.2 pokazuje u kojem modu radi naponsko pojačalo.

U položaju  $n=0$  pozicija (17) prikazuje da Pi meter radi kao digitalni voltmetar.

Analogni signal koji ulazi kroz IN konektor dolazi do analogno digitalnog pretvarača te se nakon pritiskanja tipke START (21) prikazuje na lijevom zaslonu (11) vrijednost napona.

Raspon napona na ulazu u Pi meter je od 0V do 10V te se ova vrijednost ne smije prekoračiti.

Odabirom položaja prekidača (17) odabire se raspon frekvencija koji se mjeri.

Preporuča se korištenje  $n=2$  do  $n=4$  dok u slučaju kad je  $n=9$  izvršit će se samo jedno mjerenje koje će biti pohranjeno.

Na prekidaču CAL (16) odabire se očekivani porast tlaka.

Nakon pritiskanja prekidača START (21) a s obzirom da se pretvarač tlaka nalazi u kalibracijskom uređaju na lijevom zaslonu će biti prikazan kalibracijski faktor [V/bar] (11) dok na desnom (2) je prikazan razlika između najvećega i najmanjega tlaka.

U svrhu završetka kalibracije Pi metra potrebno je kalibracijski faktor unijeti na prekidač CAL (16) u jedinicama [mV/bar].

#### 4.1.1.3. Određivanje gornje mrtve točke

Kod određivanje gornje mrtve točke, radi se u načinu rada TDC te svijetli žaruljica (8).

Mjerenje se počinje pritiskanjem tipke START (21) nakon odabiranja broja ciklusa na prekidaču (17),  $n=4-5$  je dovoljna vrijednost.

Položaj koljenastog vratila pri najvećoj vrijednosti tlaka je prikazan na lijevom zaslonu (11) dok njegova početna devijacija na desnom (2).

Ovu dobivenu vrijednost potrebno je u određenoj mjeri korigirati s obzirom da najveći tlak nastupa nešto prije GMT zbog termodinamičkih karakteristika komore za izgaranje.

Za vrlo precizna mjerenja može se koristiti COM-TDC senzor koji se priključuje preko IN konektora.

Nakon određivanja GMT vrijednost se unosi u Pi meter preko TDC prekidača (15) u desetinama stupnja.

#### 4.1.1.4. Mjerenje tlaka za određeni položaj koljenastog vratila (Način rada $P(\alpha)$ )

Prekidač (18) se postavlja u položaj PI, položaj koljenastog vratila pri kojem se mjeri tlak postavlja se u desetinama stupnja na prekidaču TDC (15).

Nakon definiranja broja ciklusa na prekidaču (17) uključivanjem prekidača START mjeri se  $n$  ciklusa i pohranjuje.

Na posljetku program izračunava aritmetičku vrijednost tlaka i standardnu devijaciju te ih prikazuje na zaslonima (11) i (2).

#### 4.1.1.5. Izračun IMEP (engl. Indicated mean effective pressure)

Načini rada: PI 4, PI HI, PI LO, PI 2.

PI 4 (3) 4-taktni motor, IMEP za cijeli ciklus

PI HI (4) 4-taktni motor, IMEP visoko tlačnog dijela

PI LO (5) 4-taktni motor, IMEP nisko tlačnog dijela

PI 2 (6) 2-taktni motor

Prije izračuna IMEP-a potrebno je provesti kalibraciju mjernog sustava i određivanje GMT, zatim se unose vrijednosti hoda klipa i dužine klipnjače u desetinama milimetra te pložaj GMT u desetinama stupnja.

Nakon toga se postavlja potreban broj mjernih ciklusa na prekidaču (17) te se izvrši početak mjerenja uključivanjem tipke START (21).

Sljedeći korak izvršava program koji izračunava dv-tablicu te na lijevom zaslonu ispisuje PASS dok na desnom broj N. Nakon toga počinje izračun IMEP dijagrama. Pri svakom modificiranju geometrijskih značajki izračunava se nova dv-tablica.

Za vrijednosti  $n=1$  do 9 Pi meter izračunava i pohranjuje IMEP vrijednosti za svaki ciklus nakon čega se izračunava srednja vrijednost i standardan devijacija i prikazuju se na zaslonima (11) odnosno (2).

Kod mjerenja IMEP-a za 4-taktne motore izračunava se IMEP za cijeli ciklus dok je samo prikaza ona vrijednost IMEP-a koja je odabrana na prekidaču načina rada PI 4, PI HI ili PI LO. Prebacivanjem u drugi prikaz vrijednosti IMEP-a te pritiskanjem prekidača RESET (22) prikazuju se novo odabrana vrijednost IMEP-a.

Svaka pojedina vrijednost IMEP-a za svaki ciklus može biti prikazana pomoću prekidača N+1 (20).

#### 4.1.1.6. Izračun $p_{max}$ , $dp_{max}$ , $\alpha p_{max}$ , $\alpha dp_{max}$ , rpm, te pV i p $\alpha$ dijagrama

Tijekom svih mjerenja u načinima rada PI 4, PI HI, PI LO i PI 2, sljedeća mjerenja se izvode automatski: procesor obrađuje parametre  $p_{max}$  i položaj koljenastog vratila  $\alpha_{pmax}$  u odnosu na GMT, najveći gradijent porasta tlaka  $dp_{max}$  te njegov položaj  $\alpha_{dpmax}$  s obzirom na GMT.

Odabir prikaza  $p_{max}$  i  $\alpha_{pmax}$  odabire se prekidačem (18) te se izvršava pomoću prekidača RESET (22).

Prikaz  $dp_{max}$  i  $\alpha_{dpmax}$  izvodi se na isti način, samo se na prekidaču (18) odabire željeni prikaz.

Postoji također mogućnost prikaza brzine vrtnje motora čiji prikaz se također odabire na prekidaču (18), pri čemu je najmanja brzina vrtnje motora koju može mjeriti ovaj Pi meter 480 [o/min].

Procesor izračunava srednje vrijednosti pV i p $\alpha$  dijagrama te se dobiveni dijagrami ispisuju na ploteru.

#### 4.1.1.7. Prikaz dobivenih rezultata

Pregled srednjih vrijednosti i standardnih devijacija koje su prikazane na desnom i lijevom zaslonu u ovisnosti o odabiru načina rada i položaju prekidaču (18) te nakon pritiskanja tipke RESET (22) prikazani su u *tablica 4.1.*

**Tablica Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1. Prikazivanja srednjih vrijednosti na zaslonu[5]**

Prekidač	Način rada	Lijevi zalon	Desni zaslon
----------	------------	--------------	--------------

$p_{\max}$	PI 4, PI HI, PI LO i PI 2	$p_{\max}$ (1. RESET) $\alpha_{p_{\max}}$ (2. RESET)	$\sigma_{(p_{\max})}$ $\sigma_{(dp_{\max})}$
$dp_{\max}$	PI 4, PI HI, PI LO i PI 2	$d p_{\max}$ (1. RESET) $\alpha_{dp_{\max}}$ (2. RESET)	$\sigma_{(dp_{\max})}$ $\sigma_{(\alpha dp_{\max})}$
$p_i$	PI 4, PI 2 OUT TDC $P(\alpha)$ CAL, $n=0$ CAL, $n \neq 0$	IMEP - TDC $P(\alpha)$ Faktor kalibracije napona	$\sigma_{(IMEP)}$ PLO $\sigma_{(TDC)}$ $\sigma_{(P(\alpha))}$ - promjene
N	PI 4, PI 2	rpm	$\sigma_{(rpm)}$

Da bi se prikazala pojedinačnih vrijednost na zaslonu podešava se broj željenih ciklusa na prekidaču CAL (16), te pritiskanjem prekidača RESET (22) i prekidača N+1 (20) dolazimo do tražene vrijednosti.

Prije svakog sljedećeg mjerenja treba natrag vratiti vrijednost kalibracijskog faktora na prekidaču CAL (16).

Tablica 4.2 pokazuje pregled podataka koji su prikazani na lijevo i desnom zaslonu ovisno o načinu rada i prekidaču (18)

**Tablica Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..2. Prikazivanja pojedinačnih vrijednosti na zaslonu [5]**

Prekidač	Način rada	Lijevi zalon	Desni zaslon
$p_{\max}$	PI 4, PI 2	$p_{\max}$ ciklus n	$\alpha_{p_{\max}}$ of ciklus n
$dp_{\max}$	PI 4, PI 2	$dp_{\max}$ ciklus n	$\alpha_{dp_{\max}}$ of ciklus n
$P_i$	PI 4, PI 2 OUT $P(\alpha)$ Podesiti CAL nakon mjerenja IMEP-a	IMEP ciklus n SEL $P(\alpha)$ cycle n Vrijednost tlaka $p\alpha$ - diagrama	Index (1,2, .. N) Code (1,2, .. 14) Index (1,2, .. N) Položaj koljenastog vratila dobivene

			vrijednosti tlaka u odnosu na GMT
N	PI 4, PI 2	Rpm cycle n	Index (1,2, .. N)

#### 4.1.1.8. Mjerenje dužeg perioda

Ovaj način rada omogućava duži period mjerenja od 512 sljednih ciklusa u svim načinima rada koji se koriste za mjerenja IMEP-a. U ovom načinu rada produžuje se vrijeme mjerenja tako da se mjeri 512 ciklusa dok se između 2 mjerena ciklusa preskače  $2^{n-1}$  ciklusa pri čemu je broj n ponovno određen postavkama na prekidaču (17).

Primjena ovog načina rada je pri analizi tranzicijskih promjena kao što su ubrzavanje motora, promjenjivo opterećenje i promatranje tijekom dugotrajnog ispitivanja.

Mjerenje dužeg perioda se vrši na sljedeći način:

- Postaviti broj n koji određuje broj ciklusa koji se preskače između 2 mjerenja po formuli  $2^{n-1}$  na prekidaču (17). Pokrenuti mjerenje pritiskanjem prekidača START (21). Ovo mjerenje pohranjuje samo broj ciklusa koji će biti preskočen. Prikazan rezultat mjerenja  $2^n$  sljednih ciklusa može biti zanemaren.
- Postaviti prekidač (17) u položaj 0 te pripremiti Pi meter pomoću prekidača START (21) za mjerenje. Zaslon prikazuje stvarne IMEP-e koji su sada mjereni u nadzornom načinu rada.
- Potrebno je pokrenuti mjerenje kroz 512 ciklusa sa izostankom  $2^{n-1}$  ciklusa postavljanjem n=1 na prekidaču (17). Čim se n promjeni sa 0 na 1 počinje proces mjerenja. Na zaslonu se ništa ne ispisuje sve dok mjerenje na završi. Te nakon toga je rezultat prikaz te se s njim može manipulirati na već spomenute načine.

## 4.2. Naponsko pojačalo

Također bitan element mjernog sustava za indiciranje motora je i naponsko pojačalo čija funkcija je pretvorba ulaznog naboja od senzora u napon za Pi-meter. Naponsko pojačalo proizvođača COM Kistler, koje je ugrađeno u Pi meter pogodno je za sve vrste dinamičkih mjerenja koristeći piezoelektrične pretvarače. U normalnom modu PCA pojačalo se koristi kao konvencijalno naponsko pojačalo za pojačavanje signala piezoelektričnih pretvarača bez definiranja nulte točke. Tri referentna moda interni, eksterni, termodinamički mod zahtijevaju upotrebu senzora položaja i brzine koljenastog vratila CDM.

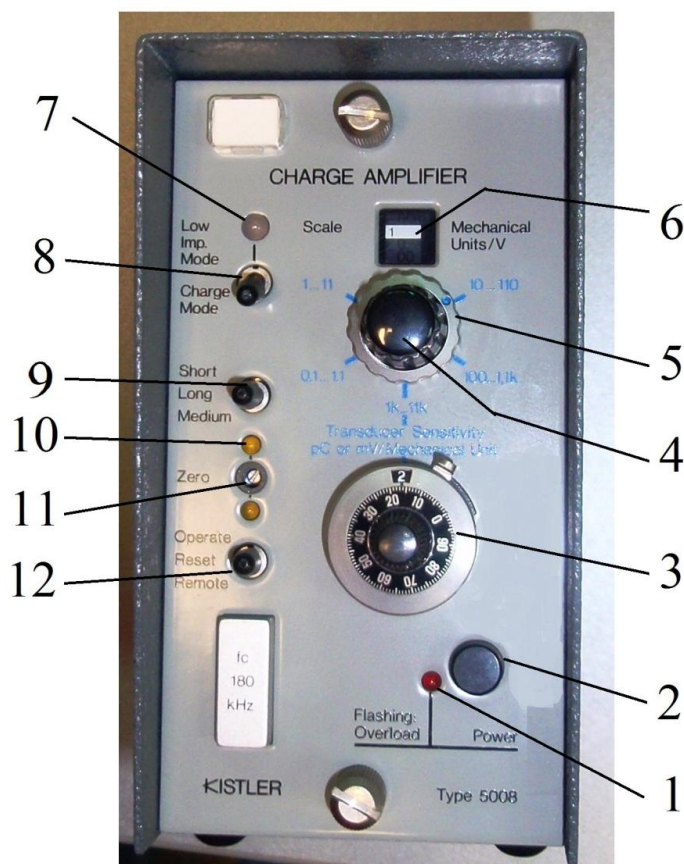


- |   |  |
|---|--|
| 1) priključak za mjerenje ulaznog signala,  | 9) žaruljica koja pokazuje preopterećenje pojačala,                |
| 2) unos referentnog tlaka,  | 10) prekidač za resetiranje,                                       |
| 3) rotacijski prekidač za odabir vremenskog filtera domene,                                     | 11) unos referentnog kuta koljenastog vratila,                     |
| 4) žaruljica koja pokazuje kada je uključen vremenski filter,                                   | 12) prekidač za odabir tipa motora koji se ispituje,               |
| 5) prekidač za odabir mjernog područja u [bar]  | 13) žaruljica koja pokazuje korištenje vanjskog referentnog moda,  |
| 6) žaruljica koja pokazuje kada se koristi daljinski pokazivač,                                 | 14) žaruljica koja pokazuje termodinamičkog referentnog moda,      |
| 7) pretvarač tlaka,   | 15) žaruljica koja pokazuje korištenje unutarnjeg referentnog moda |
| 8) žaruljica koja pokazuje kada je došlo do greške pri očitavanju položaja koljenastog vratila, | 16) rotacijski prekidač za odabir operativnog moda.                |

**Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..6. Fotografija prednjeg dijela naponskog pojačala PCA**



Na slici Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..7. i Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..8. prikazano je naponsko pojačalo proizvođača Kistler tip 5008 koje nije integrirano u Pi uređaj, već je ugrađeno u zasebno kućište.



1) kontrolna žaruljica i indikacija preopterećenja,

2) mrežna sklopka,

3) potenciometar za namještanje osjetljivosti pretvarača,

4) rotacijski prekidač za namještanje mjerila (birač mjernih područja),

5) prsten za namještanje izbora osjetljivosti pretvarača,

6) prozorčić za očitavanje vrijednosti mjerila,

7) indikator napona,

8) sklopka: gore- pojačalo za piezoelektrične pretvarače; dolje- pojačalo za konvencijalne kvarckristalne pretvarače,

9) sklopka vremenske konsatante: gore- kratko; srednje-dugo; dolje-srednje,

10) indikacija za odstupanje nultočke pojačala,

11) potenciometar za podešavalje odstupanja nultočke,

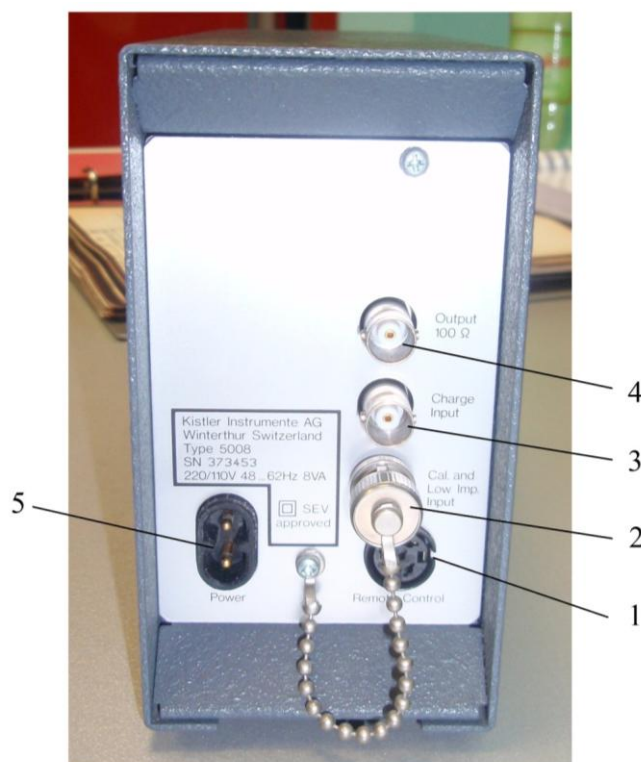
12) sklopka za odabir načina rada.

**Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..7. Fotografija prednjeg dijela naponskog pojačala Kistler**

**Tablica Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..3. Upute za rad s prednjom stranom pojačalom Kistler 5008**

PREDNJA STRANA POJAČALA		
Pozicija na slici 4.7	Oznaka/element	Funkcija
1, 2	POWER.	Mrežna sklopka (1). Kontrolna žaruljica (2) svijetli ukoliko dođe do preopterećenja.
3, 5	TRANSDUCER SENSIVITY pC ili mV/meh. jedinica Osjetljivost pretvarača u pC ili mV/mehanička jedinica, potencijometar sa 10 položaja sa DIAL 1-00 do 11-00, te prsten za regulaciju.	Potencijometar za podešavanje osjetljivosti pretvarača u pC ili mV/meh. jedinice. Osjetljivost konvencionalnog pretvarača mjerne vrijednosti kvarcnog kristala (pC/M.U.) ili pretvarača za indiciranje niskog tlaka (u mV/M.U.) izvodi se sa dva elementa za manipulaciju: 1) Podešavanje prijemne osjetljivosti dekadno, grubo, izvodi se srebrno obojenim prstenom (5) za namještanje. 2) Podešavanje prijemne osjetljivosti unutar dekadne podjele izvodi se potencijometrom (3).
4, 6	SCALE MECHANICAL UNIT/V Mjerilo u mehanickim jedinicama/V. Okretna sklopka i prozorčić za očitavanje.	Okretna sklopka sa crnom glavom (4) za odabiranje 12 mogućih mjerila (odnosno mjernih područja). U prozorčiću (6) se može očitati odabrana vrijednost mjerila, gdje su označene vrijednosti desno sa slovom "m" i "k" kao kratice za "mili"= $10^{-3}$ odnosno „kilo“= $10^3$
7, 8	LOW IMP. MODE, CHARGE MODE.	Preklopna sklopka služi za izbor vrste pogona kao konvencijalno pojačalo ili kao pojačalo za spajanje sa pretvaračima za indiciranje niskog tlaka. U položaju LOW IMP. MODE napaja se potrebnom strujom. U tom slučaju diode će svijetliti zeleno, ako piezoelektrični pretvarač uzima napon između 4 i 19V (signalna točka između 9 i 14V plus pomak +/-5V). Svjetleća dioda će svijetliti crveno ako je napon manji od

		4V (što naznačava pozitivno preopterećenje ili kratki spoj u krugu pretvarača). Crveno- zeleni treptajući signal se pojavljuje ako je napon piezoelektričnog pretvarača iznad 19V (što predstavlja negativno preopterećenje ili prekid kruga pretvarača).
9	SHORT, LONG MEDIUM. Sklopka sa tri pozicije: Kratke, duge, srednje vremenske konstante.	Odabir aplikacije za odgovarajuću vremensku konstantu.
10, 11	ZERO. Nulta točka, dvije svjetleće diode te potencijometar.	Diode indiciraju na odstupanje nultočke više od +/- 20mV. Korekcija odstupanja nulte točke vrši se potencijometrom.
12	OPERATE,RESET,REMOTE. Sklopka sa tri pozicije.	Vrstu rada pojačala odabiremo sa sklopkom koja se može staviti u radni položaj, povrat (izlazni napon na nuli), te odabrati daljinsko upravljanje.
10, 11	ZERO. Nulta točka, dvije svijetleće diode te potencijometar.	Diode indiciraju na odstupanje nultočke više od +/- 20mV. Korekcija odstupanja nulte točke vrši se potencijometrom.
12	OPERATE,RESET,REMOTE. Sklopka sa tri pozicije.	Vrstu rada pojačala odabiremo sa sklopkom koju možemo staviti u radni položaj, povrat (izlazni napon na nuli), te odabrati daljinsko upravljanje.



- 1) priključak za daljinsko upravljanje i kontrolu,  
 2) ulaz kalibracije i ulaz za piezoelektrični pretvarač,  
 3) ulaz u pojačalo za kvarcno kristalni pretvarač,

- 4) izlaz, 100  $\Omega$ ,  
 5) utičnica za napajanje.

*Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..8. Fotografija stražnjeg dijela naponskog pojačala Kistler*

*Tablica Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..4. Upute za rad s stražnjom stranom pojačalom Kistler 5008*

STRAŽNJA STRANA POJAČALA		
Pozicija na slici 4.8	Oznaka/element	Funkcija
1	REMOTE CONTROL. Daljinsko upravljanje, 6-polna utičnica.	Priključak za kontrolu i daljinsko upravljanje, odgovara utičnici tipa 1564.
2	CAL. AND LOW IMP.	Ulaz kalibriranja služi za funkcionalnu kontrolu pojačala.
3	CHARGE INPUT. BNC utičnica	Ulaz u pojačalo u kojeg se priključuje kabel piezoelektričnog pretvarača tlaka.
4	OUTPUT 100 $\Omega$ BNC utičnica	Izlaz napona pojačala sa unutarnjim otporom 100 $\Omega$ i FS od +/-10V
5	POWER.	Mrežna utičnica za kabel tipa 1503

#### 4.3. Senzor zakreta i brzine vrtnje koljenastog vratila

Indiciranje motora zahtjeva mjerenje zakreta i brzine vrtnje koljenastog vratila što podrazumijeva ugradnju spojnog vratilo na koji se postavlja inkrementalni optički senzor vratila. Inkrementalni optički enkoderi se najčešće koriste na mjestima gdje se mehanički pokret treba pretvoriti u digitalni signal. Uređaji se sastoje od optičkog senzora položaja koji čita podatke o položaju sa diska montiranog na vratilo koji na sebi ima 360 jednako razmaknutih linija stvarajući taj broj kvadratnih signala za svaki okretaj vratila. Na disku može biti nekoliko linija manje što predstavlja određenu startnu točku. Diskovi se uobičajeno izrađuju od stakla osim u slučajevima u kojima su prisutna vrlo visoka udarna opterećenja te se tamo zahtijevaju čelični diskovi sa manjim brojem pulseva.

Inkrementalni enkoderi su najjednostavniji uređaji za mjerenje položaja i brzine, ali ne daju apsolutni položaj kao drugi enkoderi. U najjednostavnijoj varijanti koristi se jedan impulsni niz pri čemu se impulsi broje nekim vanjskim brojačem s ciljem dobivanja informacije o brzini i poziciji. Jedan impulsni niz ne može dati informaciju o smjeru brzine vrtnje. U tom slučaju se koristi dvokanalni inkrementalni enkoder, koji generira dva slijeda impulsa A i B međusobno fazno pomaknutih za  $90^\circ$ , na osnovi kojih se određuje smjer vrtnje.

Na slici **Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..**9. prikazan je senzor zakreta i brzine vrtnje koljenastog vratila.



**Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..**9. Fotografija senzora zakreta i brzine vrtnje koljenastog vratila

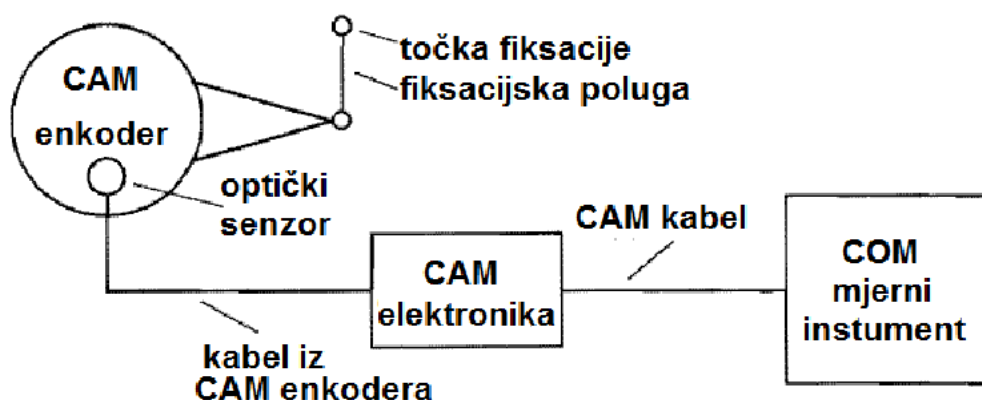
CAM enkoder je spojen na CAM elektroniku kabelom duljine 0,5 m. CAM elektronika sadrži sklop za obradu signala, koji pretvara reflektirani analogni signal u digitalne pulseve davača

kuta zakreta (engl. *crankangle pulses*) i pulseve aktivacijskog davača (engl. *trigger pulses*). Sklop za obradu signala je samopodešavajući, što znači da elektronički kompenzira promjene udaljenosti između diska s davačima kuta zakreta i optike uslijed aksijalne zračnosti, kao i varijacija u svjetlini površine diska s markerima kuta zakret uslijed nečistoća.



**Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..10. Fotografija CAM elektronike**

CAM elektronika je konstruirana kao kabelsko pojačalo, koje je smješteno između CAM enkodera i mjernog instrumenta kojim se upravlja. Slika 4.10 pokazuje način spajanja CAM sistema zajedno sa COM mjernim instrumentima kao što je Pi-meter.



**Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..11. Shema spajanja CAM sistema s COM mjernim instrumentom**



## 5. Proračun brzina prilikom indiciranja motora

### 5.1. Proračun potrebne brzine očitavanja uzoraka (engl. Sample rate)

Brzina modula potrebnog za očitavanje signala promjene tlaka u cilindru ovisi o najveća brzini vrtnje kočnice za ispitivanje motora. Ispitni motor je postavljen na hidrauličku kočnicu SCHENCK D 400. Najveća brzina vrtnje kočnice je 10 000 [min<sup>-1</sup>] i jednostavnom formulom se se iz brzine vrtnje može doći do potrebne brzine prikupljanja uzoraka.

$$n_{\max} = 10\,000 \left[ \frac{\text{okr}}{\text{min}} \right] = \frac{10\,000}{60} \left[ \frac{\text{okr}}{\text{s}} \right] = 16.666667 \left[ \frac{\text{okr}}{\text{s}} \right] \quad (5.1.)$$

$$T_{\text{okr}} = \frac{1}{n_{\max}} = \frac{1}{16.666667 \left[ \frac{\text{okr}}{\text{s}} \right]} = 0.006 \text{ [s]} \quad (5.2.)$$

$$T_{1^\circ\text{KV}} = \frac{T_{\text{okr}}}{\alpha_{\text{okr}}} = \frac{0.006 \text{ [s]}}{360^\circ} = 0.00001666 \text{ [s]} = 16.66 \text{ [}\mu\text{s]} \quad (5.3.)$$

$$F_{1^\circ\text{KV}} = \frac{1}{T_{1^\circ\text{KV}}} = \frac{1}{0.00001666 \text{ [s]}} = 60\,012 \text{ [Hz]} = 60 \text{ [kHz]} \quad (5.4.)$$

Gdje su:

$n_{\max}$  - najveća dozvoljena brzina vrtnje kočnice, čime je ograničena i brzina vrtnje motora,

$T_{\text{okr}}$  - vremenski period jednog okretaja koljenastog vratila

$T_{1^\circ\text{KV}}$  - vremenski period u kojem se koljenasto vratilo zakrene za 1°,

$\alpha_{\text{okr}}$  - broj stupnjeva jednog okretaja koljenastog vratila motora,

$F_{1^\circ\text{KV}}$  - frekvencija digitalnog signala pri  $n_{\max}$  prilikom očitavanja svakog stupnja zakreta koljenastog vratila

Da bi bili potpuno sigurni da ćemo dobiti ispravan signal, dobivenu vrijednost frekvencije digitalnog signala uvećamo dvostruko, tj. pomnožimo sa sigurnosnim faktorom 2.

$$F = F_{1^\circ\text{KV}} * S = 60 \text{ [kHz]} * 2 = 120 \text{ [kHz]} \quad (5.5.)$$

Ovim proračunom je dobiveno da potrebna brzina prikupljanja uzoraka mora biti najmanje 120 kHz.

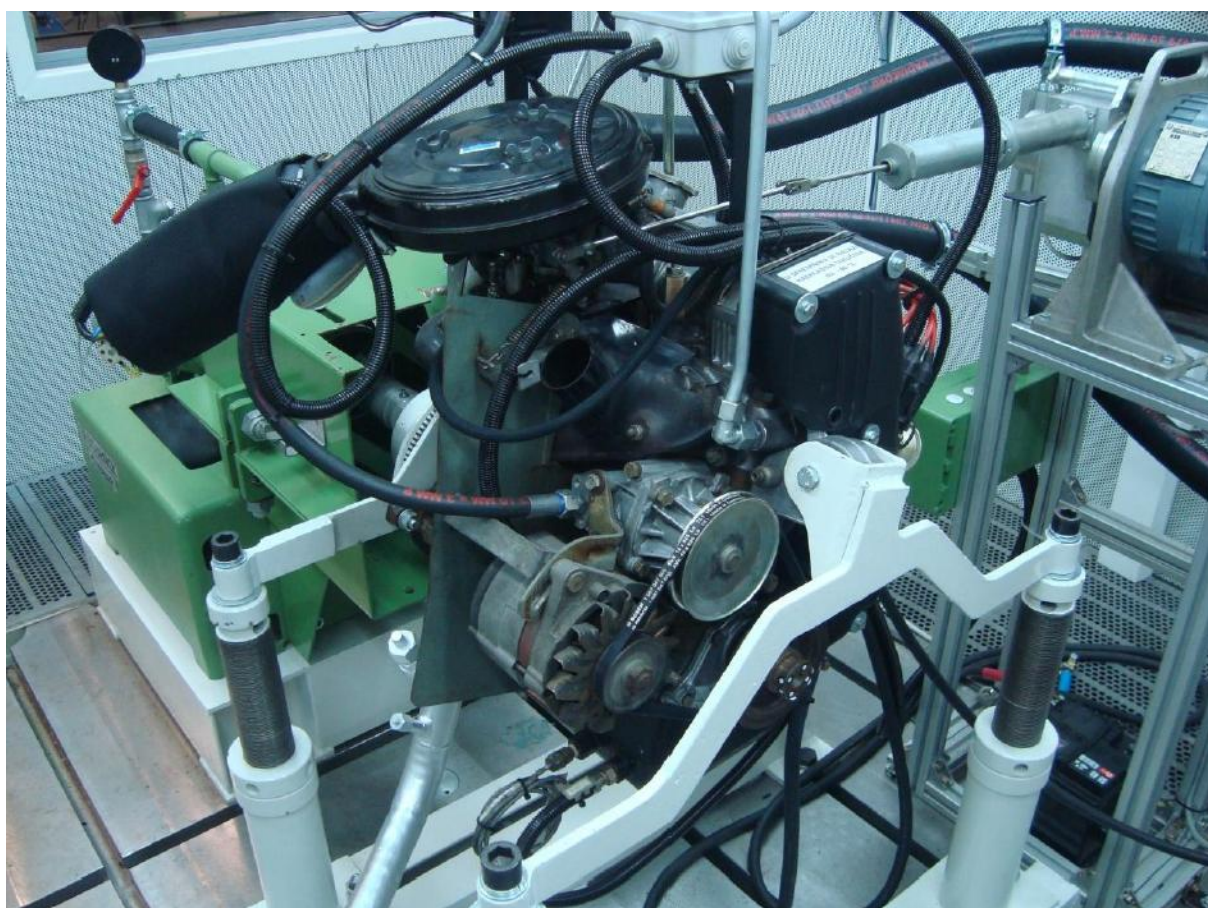
## 6. Opis postupka indiciranja DMB 128 A motora s unutarnjim izgaranjem

Postupak indiciranja motora pomoću postojeće opreme sastoji se od dva mjerenja:

- mjerenje tlaka u određenom cilindru motora pomoću piezoelektričnog pretvarača tlaka i
- određivanje kuta zakreta koljenastog vratila

### 6.1. Ispitni motor

Ispitni Otto motor DMB 128 A ugrađivao se u automobile proizvođača Zastava, čija se konstrukcija temeljila na Fiat-u, te je uz manje izmjene korišten i u novom modelu Yugo.



*Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1. Fotografija ispitnog motora postavljenog na kočnicu*



**Tablica Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..1. Karakteristike ispitnog motora DBM 128A**

Ciklus,	Otto četverotaktni
Broj cilindara,	4
Promjer cilindra, [mm]	80
Hod klipa, [mm]	55,5
Radni volumen cilindra, [cm <sup>3</sup> ]	1116
Kompresijski omjer,	9,2
Najveća snaga [kW]	40,4 [kW] pri brzini vrtnje 6000 [min <sup>-1</sup> ]
Najveći okretni moment [Nm]	77.4 [Nm] pri brzini vrtnje 3000 [min <sup>-1</sup> ]

## 6.2. Mjerenje tlaka u cilindru DMB 128 A motora s unutarnjim izgaranjem

Mjerenje se izvodi tako da se na mjesto svjeće cilindra u kojem želimo mjeriti tlak ugrađuje sklop svjeće i kućišta za piezoelektrični pretvarač.



***Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..2. Fotografija sklopa svjećice i kućišta za piezoelektrični pretvarač***

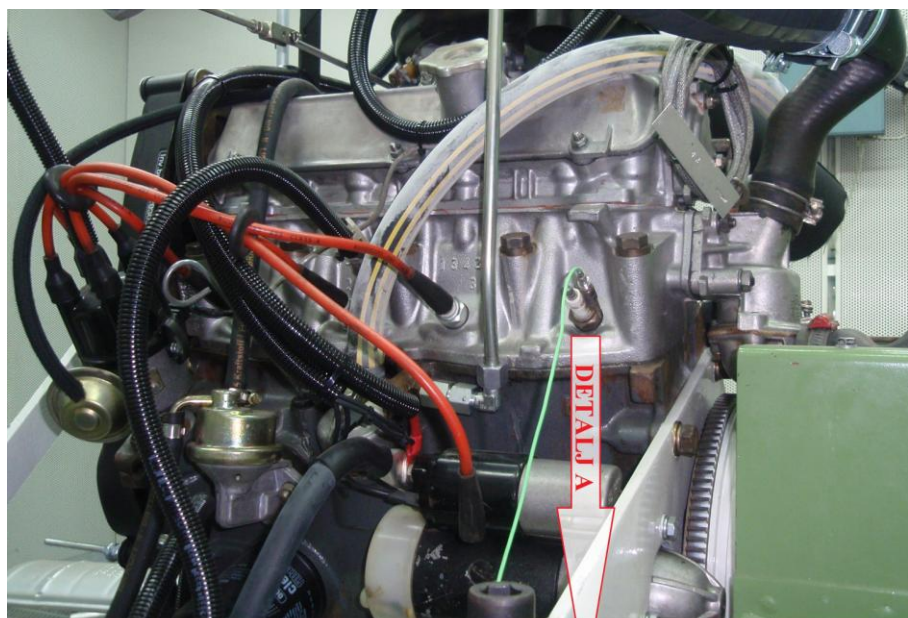
U kućište za piezoelektrični pretvarač postavlja se pretvarač koji se kablom povezuje sa naponskim pojačalom Kistler tip 5008 koje pretvara dobiven naboj u napon koji se koristi u Pi- metru.



***Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..3. Fotografija piezoelektričnog pretvarača tlaka proizvođača Kistler tip 6001***

**Tablica Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..2. Karakteristike piezoelektričnog pretvarača tlaka proizvođača Kistler**

Type 6001	SN 377297
Mjerno područje,	0.....250 bar
Osjetljivost,	-15,2 pC/bar
Temperatura,	-200.....350°C



DETALJ A



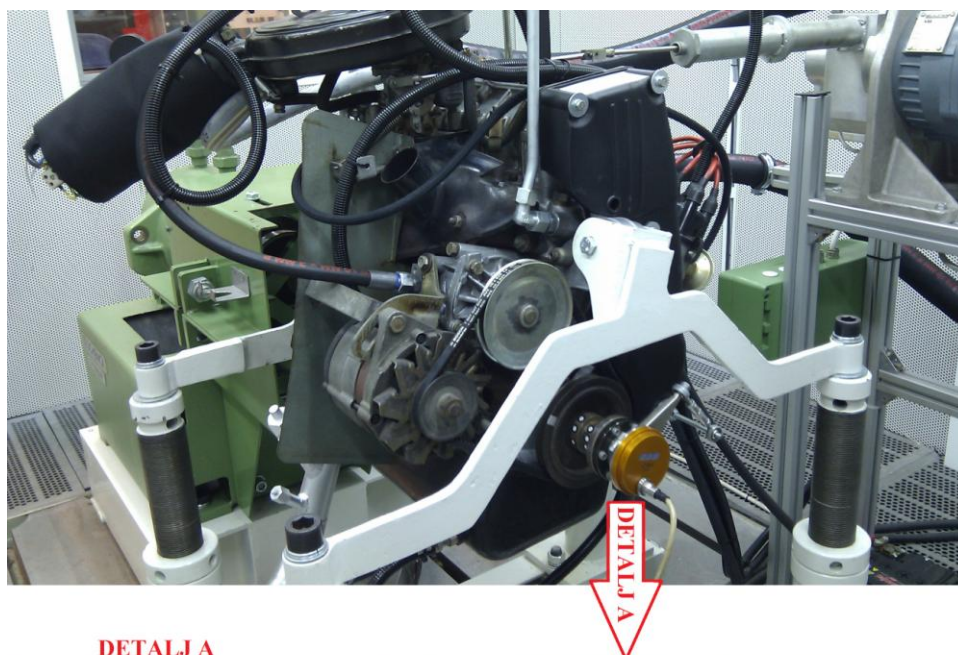
**Slika Pogreška!** Za dodavanje **Heading 1** tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite **karticu Početno..4.** Fotografija sklopa svjećice i kućišta za piezoelektrični pretvarač ugrađenog u ispitni motor

### 6.3. Određivanja kuta zakreta koljenastog vratila

Kut zakreta i brzina vrtnje koljenastog vratila određuje se pomoću inkremetalnog enkodera proizvođača COM tip CAM 10013. Enkoder se ugrađuje na slobodan kraj koljenastog vratila pomoću priрубnice, te se povezuje sa CAM elektronikom. Na CAM elektronici nalaze se dva priključka. Jednim se spaja CAM enkoder na CAM elektroniku (ženski priključak), a drugim



se CAM elektronika pomoću CAM kabela spaja sa COM- KISTLER mjernim instrumentima (muški priključak). CAM elektronika pretvara analogni u digitalni signal koji šalje dalje pomoću kabla do Pi-metra koji pojačava signal i vrši njegovu obradu, ili se povezuje s određenim modulom u svrhu prikazivanja na osciloskopu.



***Slika Pogreška! Za dodavanje Heading 1 tekstu koji želite da se ovdje pojavi koristite karticu Početno..5. Fotografija CAM enkodera ugrađenog na DMB 128 A motor***

## **7. Zaključak**

Indiciranje motora je metoda za analizu i optimizaciju rada motora i procesa izgaranja. Ova metoda značajna je tijekom razvoja motora jer pruža uvid u trenutna zbivanja unutar rada motora. Piezoelektrični pretvarači tlaka, koji predstavljaju aktivni mjerni element imaju ključnu ulogu u indiciranju motora te ih je vrlo važno pravilno postaviti na motor i integrirati unutar sustava kalibracije. Vrlo bitan element u mjernom lancu je naponsko pojačalo koje naboje stvoren pomoću piezoelektričnih pretvarača tlaka pretvara u naponski signal. Obradom signala, obavljenom u Pi metru, dolazi se do ključnih podataka (npr. srednji indicirani efektivni tlak) koji su potrebni za razvoj i analizu rada motora.

## **Literatura**

- [1] Martyr, A. J.; Plint, M. A.: Engine Testing, Elsevier Ltd., 2007.
- [2] AVL: User Handbook „Engine Indicating“, Austria, 04/2002.
- [3] Kistler: Engine Combustion Analysis, Kistler Group, 2010.
- [4] Mahalec I., Lulić Z., Kozarac D.: Motori s unutarnji izgaranjem, FSB, Zagreb 2010.
- [5] COM: Pi meter User manual, Austria, 1991.
- [6] Kistler: Uputstvo za rad i servis DVO pojačala tip 5008, Winterthur, 1991.
- [7] Stone, C.R. and Green-Armytage, D.I.; Usporedba metoda za proračun udjela izgorjele mase goriva iz indikatorskih dijagrama, Proc. I. Mech. E., 201 (D1), 1987.
- [8] Rassweiler, G.M. and Withrow, L. ; Motion pictures of engine flame propagation. Model for S.I. engines, S.A.E.J1., 42, 185-204, 1938.